



Master-Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades
„Master of Arts (M.A.)“

im Studiengang Medienwissenschaft

**Vom „Tod durch Schrift“ zur verlustfreien Kopie. Warum der
digitale Code buchstäblich zeitlos ist**

From „death by writing“ to lossless copying. Why the digital code is literally timeless

Matthias Wannhoff

Einreichung: WS 2013/14

Datum der Verteidigung: 3. April 2014

1. Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang Ernst
2. Gutachter: Paul Feigelfeld, MA

Inhaltsverzeichnis

0. Vorbemerkung zur Textform	2
1. Einleitung	3
2. <i>Vorspann</i> : ‚Tod durch Schrift‘ – Zur Tradition einer Metapher und ihrer Anschlussfähigkeit für die Medientheorie	10
2.1. Platon/Schleiermacher/Gadamer: Schriftlichkeit als Stillstellung und Entkörperlichung	10
2.2. Bateson/Watzlawick/Lacan: Analoge vs. digitale Kommunikation und Reales vs. Symbolisches	14
3. <i>Fundierung</i> : Über Leben und Tod im (bio-)physikalischen Sinne	21
3.1. Physikalisch-mathematische Grundlagen: Entropie und Zeit/losigkeit	21
3.2. <i>Negative Entropie</i> und <i>Leben</i> bei Schrödinger	32
3.3. $\Delta S=0$. <i>Konstante Entropie</i> und <i>Tod</i>	37
4. <i>Übergang</i> : Wieners Kybernetik als eine Theorie des <i>Lebens</i>	40
4.1. Information als <i>negative Entropie</i> : Zum Verhängnis einer Formel	42
4.2. <i>Nature comes first</i> : Zum analogtechnischen Index von Wieners Theorie	48
4.3. <i>Unmöglicher Stillstand</i> : Informationsgewinnung als Todeskampf	51
5. <i>Zusammenführung</i> : Digitalität als <i>Tod</i> mit Shannon	54
5.1. <i>Signal vs. Nachricht</i> : Shannons Informations- als Entkörperlichungstheorie	54
5.2. Information als <i>positive Entropie</i> : Korrektur einer notorischen Fehllektüre	58
5.3. Shannon, Wiener und die Frage nach dem Digitalen	61
5.4. $\Delta H=0$. Zeitlosigkeit als Signum des digitalen Codes	66
5.4.1. <i>Code-Stabilität</i> : Zum zeitphilosophischen Paradox der verlustfreien Kopie	66
5.4.2. <i>Gleichursprüngliches Reset</i> : Zur Zeitlosigkeit der Rastergrafik	72
5.4.3. Vom <i>Noch-nicht-stillstehen</i> zum <i>Noch-nicht-bewegt-sein</i> : 10 ⁹ Jahre Auslesbarkeit	75
5.5. <i>Tertium datur</i> : Vom ‚(Neg-)Entropischen‘ zum <i>Isentropen</i>	82
5.5.1. <i>Symbolischer Platztausch</i> : Anagramm und Palindrom	84
5.5.2. <i>(Un)mögliche Zeitreisen</i> : Von der Carnot- zur Turing-Maschine	88
5.5.3. <i>Rückwärtsrechnen</i> : Über isentrope Computer	97
6. Schlussbemerkung	103
Abbildungsnachweise	106
Literatur- und Quellenverzeichnis	107
Eidesstattliche Erklärung	119

0. Vorbemerkung zur Textform

Der nachfolgende Text arbeitet mit einem sehr heterogenen Korpus an Literatur – befragt werden insbesondere Hermeneutik, (Bio-)Physik, Kybernetik, Nachrichtentheorie und Informatik – und behauptet deren *tertium comparationis* im Formalismus des physikalischen ‚Entropiediskurses‘. Da wesentliche Konzepte dieses Diskurses deutschsprachigen Ursprungs sind und um den Bezug zwischen den verschiedenen Disziplinen transparent zu halten, wurde bei fremdsprachigen Texten zwar bevorzugt das Original zitiert, in mehreren Fällen fiel die Wahl jedoch bewusst auf deutschsprachige Übersetzungen. Zum Beispiel sprechen in dieser Arbeit sowohl Ludwig Boltzmann und Norbert Wiener als auch Jacques Lacan einheitlich von ‚Unordnung‘, wodurch die Verdeutschung selbst zu einem vermittelnden Dritten wird.

Bei Literaturverweisen zeigen hochgestellte Ziffern die Auflage an, sofern es sich nicht um die Erstauflage handelt. Bei Wiederveröffentlichungen oder Übersetzungen, deren editorische ‚Verspätung‘ nicht durch eine Auflagenzählung markiert ist, ist dem Jahr der zitierten Ausgabe, sofern bekannt, das Jahr der Ersterscheinung vorangestellt.

Matthias Wannhoff
Berlin, im Februar 2014

1. Einleitung

TIME, you old gipsy man
Will you not stay,
Put up your caravan
Just for one day?¹

RALPH HODGSON

Im Jahr 2012, wo *Digital Humanities*, *Big Data* und *Augmented Reality* längst die Debatten bestimmen, findet sich im Feuilleton der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung* folgende Einlassung: „Tatsächlich ist es [...] irgendwie ärgerlich, Software locker von einer Festplatte auf die nächste übertragen zu können, die Gedanken und Gedächtnisse der Individuen jedoch mit ihrer Hardware, vormals: ihrem sündigen Fleisch, vergehen zu sehen.“² Auch auf akademischer Seite entzündet sich die Frage nach ‚Software‘, also dem *digitalen Code*, weiterhin an dessen Verhältnis zu besagtem Regime des ‚Fleisches‘, der ‚Hardware‘ und Vergänglichkeit, mit anderen Worten: der physikalischen Welt. So konstatiert Rudolf Gschwind:

Die Digitalisierung von Dokumenten [...] hat für diese prinzipiell die gleiche Bedeutung wie die Schrift und die Druckkunst für die Sprache: Zum ersten Mal ist es möglich, Originale [...], z.B. Bilder, in symbolischer Form (als Zahlenbündel) zu codieren und diesen Code immateriell zu transportieren und zu replizieren. Die digitale Revolution kann als echte Revolution angesehen werden, da sie in einem gewissen Sinne Ort und Zeit bedeutungslos werden lässt [...].³

Diesem offenkundig Rätselhaften, welches den Autor dazu bewegt, besagte Ort- und Zeitlosigkeit des *digitalen Codes* vorsichtig-tastend bloß ‚in einem gewissen Sinne‘ zu behaupten, möchte vorliegende Arbeit durch eine zweifache Suchbewegung entgegentreten. Ziel ist es, die obenstehende Denkfigur *erstens* selbst auf einen (historischen) *Zeitpunkt* zu datieren und *zweitens* den (disziplinären) *Ort* zu benennen, aus dem das geeignete formale Instrumentarium rekrutiert werden kann, um besagte Ort- und Zeitlosigkeit des *digitalen Codes* zu belegen. Sämtliche Diskurse, die in diesen Bewegungen der (*Rück-*)*Datierung* und *Fundierung* aufscheinen werden, sollen dabei in ein wechselseitiges Befragungsverhältnis gestellt werden.

Die *erste* Bewegung sucht eine traditionsreiche, auf Platon zurückgehende und von der philosophischen Hermeneutik aufgegriffene Metapher medientheoretisch fruchtbar zu machen: jene von *Schrift* als einer Form des ‚Todes‘. Bei Platon und später dessen

¹ Hodgson 1917/1963, V. 1-4.

² Kaube 2012, 25.

³ Gschwind 2006, 170.

Übersetzer Friedrich Schleiermacher wird sie als eine solche deklariert, da sie die ‚lebendige‘ Rede *stellt* und *entkörperlicht*. Die grundlegende Setzung lautet, dass bereits diese Rede vom ‚Tod durch Schrift‘ darauf abzielt, was oben die Ort- und Zeitlosigkeit des *digitalen Codes* genannt wurde. Hiermit sekundiert der vorliegende Text nicht nur Befunden, die Digitalität dort beginnen lassen, wo „Sprache durch Schrift auf kleinste bedeutungslose Einheiten, nämlich Buchstaben des Alphabets, heruntergebrochen werden kann“⁴, was zunächst heißt, dass im Grunde bereits ‚Schrift‘ und ‚Druckkunst‘ das geleistet haben, was Gschwinds Diagnose der ‚digitalen Revolution‘ zuschreibt (*historische Prämisse*). Darüber hinaus wird der medientheoretisch gewendete Gegensatz von ‚Leben‘ und ‚Tod‘, wie er bei Platon, Schleiermacher und nach ihnen etwa bei Hans-Georg Gadamer zu finden ist, als heuristischer Vektor für die *zweite* Suchbewegung gesetzt. Er nämlich stellt ein binäres Prüfschema bereit, anhand dessen auch der *digitale Code* nach seinem Verhältnis zu ‚Leben‘ und ‚Tod‘ befragt werden kann.

Denn eine materielle Welt, die immer in Bewegung ist, in Opposition zu unbewegten Zeichen als Effekten einer Dematerialisierung, ist exakt jene Differenz, die durch das Auftauchen der Thermodynamik im 19. Jahrhundert, vertreten durch ihren epochalen *Zweiten Hauptsatz*, sowie mit Hilfe verschiedener Anschlusstheorien auch formal angesprochen werden kann. Dabei soll es *nicht* darum gehen, die Schrifttheorie als ideengeschichtlichen Vorläufer etwa der Physik zu markieren, vielmehr bietet die Rede vom ‚Tod durch Schrift‘ die Systematisierungsfolie für eine Reihe von Begriffen an, die zum Verständnis des *digitalen Codes* in seinem Verhältnis zur Physik unabdingbar sind: die Begriffe Entropie, negative Entropie (bzw. ‚Neg-Entropie‘) und Information, ebenso aber Materialität versus Immaterialität, Bewegtheit versus Unbewegtheit, Analoges versus Digitales, Reales versus Symbolisches. Das *tertium comparationis* all dieser Oppositionen, so die Grundannahme, kann im *Entropiebegriff* respektive seinen diversen Umdeutungen verortet werden, wie sie ab Mitte des 19. Jahrhunderts in Physik, Biophysik, Kybernetik und Nachrichtentheorie ausgearbeitet wurden (*methodische Prämisse*).

Dies wird es erlauben, die von Platon und Schleiermacher soufflierte Definition von ‚Leben‘ mittels der Biophysik zu fundieren, die – angefangen bei Erwin Schrödinger – unter ‚Leben‘ eine *zeitlich strukturierte Materie* versteht. Vor allem aber kann mit Hilfe dieser physikalisch-mathematischen Fundierung die vermeintlich metaphorische Rede vom ‚Tod durch Digitalität‘ beim Wort genommen werden. Diese mag nur solange als pejora-

⁴ Ernst/von Heiseler 2008, 25.

tiv oder kulturpessimistisch erscheinen, wie man ausblendet, dass die moderne Physik für den ‚Tod‘ auch eine formale Definition anbietet. Diese Definition lautet: *konstant bleibende Entropie* – also Stillstand. Es wird zu zeigen sein, dass diese Zeitweise für digitale Codes maßgeblich ist, die nämlich seit Claude Shannon mit derselben Mathematik anschreibbar sind, welche die Physik – im Entropiekalkül – zur Quantisierung physikalischer Systeme benutzt. Auf die eingangs genannte Diagnose von Gschwind gemünzt: Die digitale ‚Ort‘- ist selbst eine *Zeitlosigkeit*, denn Personen oder Dinge vom einen zum anderen Ort zu befördern, ist auch Pferden oder Eisenbahnen möglich. Dass das Transportierte jedoch *unverändert* – eben bei konstanter Entropie – den Ort wechseln kann, ist das Proprium der sogenannten ‚verlustfreien Kopie‘, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit daher emblematisch für besagte *Zeitlosigkeit des digitalen Codes* steht.

Das so entwickelte begrifflich-methodische Prisma erlaubt nicht zuletzt eine wichtige Korrektur der einschlägigen medienwissenschaftlichen Literatur (*pragmatische Prämisse*). Ausgehend von Norbert Wiener hat sich dort ein verhängnisvolles Missverständnis eingeschrieben: dass nämlich Entropie gleichbedeutend sei mit unerbittlich fortschreitender Strukturdegradation und ‚negative Entropie‘ (als Information) eine Möglichkeit, den daraus folgenden, thermodynamischen ‚Zeitpfeil‘ auszuhebeln. Die Kapitel 3 und 4 der vorliegenden Arbeit werden argumentieren, dass exakt das Gegenteil der Fall ist, Entropie nämlich eine Zustandsgröße und ‚negative Entropie‘, als *Entropieverminderungsstrategie*, immer schon zeitlich. Darum ist eine Summierung digitaler Prozesslogik unter den Begriff ‚Information‘ solange zum Scheitern verurteilt, wie diese gleichgesetzt wird mit besagter ‚negativer Entropie‘, die letztlich der mathematischen Lebensdefinition Schrödingers entspricht. Demnach stünde als Motor hinter aller Medienentwicklung und, sofern der Informationsbegriff einen digitalen Index trägt, zumal der Datenverarbeitung in Computern, letztlich die Todesangst. Die vorliegende Arbeit hält dagegen, dass gerade in jenen frühen Texten, welche die symbolische Kodifizierung als ‚Tod‘ umschreiben, eine physikalische wie mathematische Wahrheit verborgen liegt und das Digitale erst gefasst werden kann, sobald die Suprematie einer *zeitlich strukturierten Materie* – vulgo ‚Leben‘ – verabschiedet wurde, um stattdessen mit einer Figur des symbolischen *Stillstandes* zu arbeiten. Eine *digitale* Enthobenheit von Zeit, mithin *Zeitlosigkeit*, wird erst qua Rückgriff auf das positive Entropiekalkül formalisierbar. Eben diesen Schritt unternimmt die vorliegende Arbeit mithilfe von Shannons Nachrichtentheorie.

Im Hauptteil dieser Arbeit wird es also darum gehen, die Lebens- und Todesdefinitionen seitens der Schrifttheorie und der Biophysik, die hinreichend miteinander kompatibel sind, mit dem Formalismus Shannons zu kombinieren sowie auf die Logik und Physik von Medien zu beziehen, wobei die Möglichkeit dieser Übertragung in der prognostischen Vorgabe seitens der Schrifttheorie gründet, ‚Tod‘ und ‚Digitalität‘ – letztere *avant la lettre* – zusammenzudenken. Dieses Vorgehen ließe sich mit einem Wort Carl Friedrich von Weizsäckers *strukturwissenschaftlich* nennen. Weizsäcker fasst unter diesen Begriff solche Wissensgebiete wie die Mathematik, aber auch Systemanalyse und Spieltheorie, welche – anders als die Naturwissenschaften – keine ‚Dinge‘, sondern „Strukturen *in abstracto*“⁵ untersuchen und dabei gleichwohl methodisch *exakt*, also nicht *deutend* vorgehen. „Ein Physiker, ein Populationsbiologe, ein Ökonom können dieselbe Mathematik benutzen.“⁶ Ebenso benutzt der vorliegende Text dieselbe Mathematik, um digitale Texturen *und* physikalische Systeme zu beschreiben – gerade nicht, um die fundamentale Differenz zwischen Realem und Symbolischem zu leugnen, sondern umgekehrt in der Überzeugung, dass eine Differenzstruktur zwischen zwei Gegenständen gerade dann am Markantesten hervortritt, wenn man sie auf derselben formalen Vergleichsebene analysiert. Während die Lebens- und Todesdefinitionen seitens der Schrifttheorie eine zwar strukturelle, nicht aber formale Verbindung mit jenen des ‚Entropiediskurses‘ eingehen – schon da Platon oder Schleiermacher kein Wissen von Thermodynamik haben konnten – werden die mathematischen Konkordanzen und Differenzen zwischen den Entropiekonzepten Ludwig Boltzmanns und darauffolgend Schrödingers, Wieners und Shannons ausdrücklich Bestandteil der nachfolgenden Argumentation sein; soweit, dass ihre Formeln *pars pro toto* für die jeweilige Theorie genommen werden.

Dass dabei Genese und Genealogie besagter Theorien weniger in die Betrachtung fallen, als dass sie als gegeben behandelt werden, hat *erstens* damit zu tun, dass solche historiographischen Analysen bereits ausgiebig durchgeführt wurden. *Zweitens* entscheidet sich das Wirken mathematischer Modelle und Formalismen nicht in deren Geschichtlichkeit, sondern in ihrer Macht, konkrete Phänomene beschreiben zu können. *Drittens* vermag eine strukturwissenschaftliche Untersuchung zu anderen Ergebnissen zu gelangen, als es innerhalb eines historisch-narrativen Vorgehens erwartbar wäre. So liefe eine Nacherzählung der real stattgefundenen Zusammenarbeit von Wiener und Shannon am US-ameri-

⁵ Weizsäcker 21981, 22 – Hervorhebung i. O.

⁶ Ebd.

kanischen NDRC (*National Defense Research Committee*) Gefahr, die fundamentale *epistemologische* Diskontinuität zu verdecken, die deren wenn auch beinahe zeitgleich veröffentlichte Standardwerke, *Kybernetik* sowie die *Mathematische Theorie der Kommunikation*, voneinander trennt.⁷

Diesen Prämissen folgend, finden sich die nachfolgenden Kapitel in vier Einheiten gruppiert: einem *Vorspann*, einer *Fundierung*, einem *Übergang* sowie einer *Zusammenführung*. Der *Vorspann* zeichnet zunächst die platonische Ineinssetzung von ‚Schreiben‘ und ‚Sterben‘ sowie ihre Wiederkehr in der philosophischen Hermeneutik Schleiermachers und Gadammers nach, um die Chiffren ‚Leben‘ und ‚Tod‘ als methodische Leitdifferenz für die Folgeausführungen bereitzustellen. Daran schließt die Faltung besagter Opposition auf zwei Begriffspaare an, von denen sich ein direkter Bogen zur Medientheorie schlagen lässt: Gregory Batesons Unterscheidung zwischen *analoger* und *digitaler* Kommunikation sowie Jacques Lacans Begriffe des *Realen* und *Symbolischen*. Damit soll nicht zuletzt der historische Nebenfund dieser Arbeit gestützt werden, wonach ‚Digitalität‘ weitaus älter ist als ihr heutiger, mit dem binär getakteten Computer assoziierter Begriff (Kapitel 2).

Die *Fundierung* sucht daran anschließend den Formalismus der physikalischen ‚Entropie‘ als ein *per se* mehrdeutiges Theoriekonzept herauszustellen, das in der Lage ist, die scheinbar disparaten Begriffspaare, mit denen diese Arbeit operiert, zusammenzuhalten. Denn wenn die Naturwissenschaft einen Diskurs wie jenen der Entropie etabliert, der wesentlich darauf beruht, etwas zu quantisieren, das nicht beobachtet werden kann und darf (nämlich Moleküle); in dem eine Maschine modellbildend ist, die unendlich langsam zu laufen hat (die *Carnot-Maschine*); der schließlich zum Nachweis der eigenen Gültigkeit mit Zeitspannen von über einer Trillion Jahren rechnet (Boltzmanns Vorhersage einer molekularen *Poincaré-Wiederkehr*)⁸ – dann handelt es sich um einen Diskurs von extrem hohem Abstraktions- und Idealisierungsgrad, dessen Überfließen in andere Wissensfelder bereits systemimmanent begründbar ist. Hierbei gilt es im Besonderen, mittels For-

⁷ Für historisch-biographische Perspektiven auf das jeweilige Wirken Wieners und Shannons siehe etwa Heims 1980; Masani 1990; Roch 2009. Die Abgrenzung von einer solchen Methodik sowie Begriffe wie *Diskurs*, *Diskontinuität* und auch *Struktur* mögen die vorliegende Arbeit zwar vordergründig in die Nähe von Michel Foucaults Wissensarchäologie rücken. Allerdings hat Foucault niemals mathematische Formeln, obgleich auch sie als ‚Aussagen‘ innerhalb seiner Analysen gelten könnten, in diese miteinbezogen. Des Weiteren steht das „Vorhaben einer *reinen Beschreibung der diskursiven Ereignisse*“ (Foucault ⁴1990, 41 – Hervorhebung i. O.) dem Programm der vorliegenden Arbeit denkbar fern: Da es ihr darum geht, formale Konzepte auf ihre medientheoretische Beschreibungsmacht hin zu prüfen, ergibt sich die Notwendigkeit, sich nicht bloß ‚außerhalb‘, sondern ausdrücklich *diskursintern*, etwa mit Blick auf die Aporien im Informationsbegriff Norbert Wieners, zu positionieren.

⁸ Siehe hierfür neben besagtem Kapitel 3.1 auch Kapitel 5.5.2 der vorliegenden Arbeit.

mellektüre nachzuweisen, dass im klassischen Entropiebegriff, dem *Zweiten Hauptsatz* zum Trotz, die Möglichkeit von *Zeitlosigkeit* bereits angelegt ist. Erst daraus erschließt sich, wie Erwin Schrödinger zwar durch Rückgriff auf besagten Formalismus eine Definition von ‚Leben‘ als *etwas Materiellem, das immer in Bewegung ist*, formulieren konnte, das sich gleichwohl dadurch definiert, dass es auf einen sterilen Zustand der *Unbewegtheit* hinsteuert: den sogenannten ‚Wärmetod‘. In der Aufarbeitung dieser physikalischen Lebens- und Todesbegriffe wird versucht, den Bezug zu den Definitionen aus Kapitel 2 möglichst transparent zu halten. Dass hierbei Schrödingers Definition von ‚Leben‘ der thermodynamischen Definition von ‚Tod‘ – als *Stillstand* – vorangestellt ist, ergibt sich aus der Überzeugung, dass Suspendierungen von ‚Zeit und Ort‘ erst dann greifbar werden, wenn anderenorts eine Suprematie dieser Register behauptet oder – im Falle analoger Medien – technisch operativ wurde (Kapitel 3).

Diesen Bezug zur Medientechnik liefert der *Übergang*, welcher der *Kybernetik* Norbert Wiens gewidmet ist. Der Begriff ‚Übergang‘ soll dabei *keinen* Vorgriff auf die Nachrichtentheorie Shannons suggerieren. Vielmehr wird die Spannung zwischen Wiens denkbar *anti-materialistischer* Definition von Information als ‚weder Stoff noch Energie‘ seiner eigenen Forschungspraxis gegenübergestellt, die letztlich *keine* Abstraktion vom Physikalischen erlaubt, wie sie für symbolische Codierungen so wesentlich ist, sondern einen klar analogtechnischen Index trägt. Dieses Kapitel dient insbesondere dem Korrektiv all jener medienwissenschaftlichen Ansätze, die Wiener als Sprachrohr einer digitaltechnologischen Episteme in Anspruch nehmen (Kapitel 4).

So stark die Kontinuität zwischen Schrödinger und Wiener, so radikal ist der Bruch, den Shannons Nachrichtentheorie in den ‚Entropiediskurs‘ hineinträgt: Die *Zusammenführung* dient dem Nachweis, dass der *digitale Code* mit Shannon auch mathematisch als eine radikale Suspension der fortschreitenden ‚Zeit‘ sowie von physikalischer Materialität beschreibbar und hiermit eine *formale* Bestätigung der Prinzipien Arretierung und Dematerialisierung möglich wird, die bereits in der Schrifttheorie vorgegeben wurden. Die Pointe ist zunächst, dass Shannon sich zwar *phänomenologisch* maximal weit von der physikalischen Welt entfernt, da nunmehr Symbole anstatt Materialitäten fokussiert werden, die *Mathematik* dabei jedoch dem *positiven* Entropiekalkül Boltzmanns entspricht. Die daraus folgende *äquivalente Beschreibbarkeit* von digitalen Texturen und molekularen Anordnungen macht wichtige Anwendungen möglich, mit denen die Arbeit schließt. Analysiert werden

konkrete Phänomene aus Medienkultur und -technik: etwa die Möglichkeit der ‚verlustfreien Kopie‘ von geschriebenen Texten *und* Codes in Computern, die paradoxe Zeitlichkeit von Rastergrafiken sowie Desiderate der Nanophysik, digitale Speichermedien über eine Milliarde Jahre hinweg auslesbar zu halten. Schließlich wird mit dem *Isentropen*, was in der Physik eine ‚zeitlose‘ Zustandsänderung im *idealen Gas* bezeichnet, für einen Begriff votiert, der weitaus plausibler ist als der notorische Gebrauch des ‚Neg-Entropischen‘, wenn es um eine Modellierung digitaler Prozessweisen geht (Kapitel 5).

Was ansteht, ist also die strukturwissenschaftliche Bestätigung einer Metapher. Dass es sich bei diesem zwar *diachronen* gleichwohl um kein *teleologisches* Vorhaben handelt, folgt schon daraus, dass besagte Todesmetapher in der Schrifttheorie pejorativ und pessimistisch fällt, während die Momente *Stillstellung* und *Entkörperlichung* aus nachrichtentheoretischer Sicht gerade als Pointe aller digitalen Medien gelten können. Solch divergente Beurteilungen von *Zeitlosigkeit*, welche noch in der jüngeren Physik – im Unterschied zur Informatik – als ignorierenswert bis skandalös angesehen wird, kommen in der Schlussbemerkung zur Sprache (Kapitel 6). Daraus folgt nicht nur ein differenzierter Blick auf die Metaphoriken seitens der Schrifttheorie, sondern auch auf das Verhältnis von Physik und zeitgenössischer Medientechnik.

2. Vorspann: ‚Tod durch Schrift‘ – Zur Tradition einer Metapher und ihrer Anschlussfähigkeit für die Medientheorie

2.1. Platon/Schleiermacher/Gadamer: Schriftlichkeit als Stillstellung und Entkörperlichung

*Denn der Gott der Schrift
ist auch – selbstverständlich –
der Gott des Todes.⁹*
JACQUES DERRIDA

Vor dem Hintergrund einer modernen Medienphilosophie respektive eines ihrer prominentesten Vertreter, der verallgemeinernd davon ausgeht, „menschliche Kommunikation sei ein Kunstgriff *gegen* die Einsamkeit zum Tode“¹⁰, tut die Erinnerung daran not, dass am Anfang aller Medientheorie und -kritik ein gegenteiliges Votum stand. Am Anfang heißt: bei Platon.¹¹ Dessen vieldiskutierter *Phaidros*-Dialog mündet in einer Kritik an der Schrift, nach einer einschlägigen Analyse Friedrich Kittlers dem ersten Kommunikationsmedium überhaupt.¹² Diese antiken Einlassungen, nach denen schriftgestützte *μνήμη* (*mnêmê*), also das Gedächtnis, und *μνήμα* (*mnêma*), also der Grabstein – aber auch die Grabinschrift –, schlechthin zusammenfallen,¹³ sowie ihr Nachhall in späteren Schrifttheorien sollen den nachfolgenden Überlegungen die Richtung weisen.

„Bereits früheste ägyptische und babylonische Mythen maßen der Erfindung und Einführung der Schrift eine außerordentliche Bedeutung bei. Sie galt als die Tat eines Gottes.“¹⁴ So lässt Platon in seinem Dialog, entstanden höchstwahrscheinlich zwischen 370 und 360 v. Chr., seinen Lehrer Sokrates einen Mythos über die Entstehung verschiedenster Kulturtechniken aufgreifen, der seinerseits ägyptischen Ursprungs ist.¹⁵ Ein Gott namens Theut sei einst zum König von Ägypten, Thamos, gegangen, um diesem von seinen jüngsten Erfindungen zu berichten: darunter die Arithmetik, die Logik, die Geometrie, die Astronomie und die Schrift. Während Thamos den ersten vier Erfindungen gegenüber affirmativ gewesen sei, habe er die Einführung der Schrift mit Skepsis be-

⁹ Derrida 1972/1995, 102.

¹⁰ Flusser 1996, 13 – Hervorhebung M. W.

¹¹ Zu Platons *Phaidros*-Dialog als Urszene medientheoretischen und -kritischen Denkens siehe Mersch 2006, 29-33.

¹² Siehe Kittler 1993a, 172f. Kittler rechtfertigt diese Bestimmung dadurch, dass durch schriftliche Inskription erstmals die Möglichkeit der Speicherung von Daten mit jener der Übertragung zusammenfiel (vgl. ebd., 173).

¹³ Vgl. Schmidt 2004, 212.

¹⁴ Mersch 2006, 29.

¹⁵ Siehe ebd.

dacht. An eben diese Skepsis knüpft Sokrates an und bringt eine Reihe von Kritikpunkten vor, unter denen einer besonders virulent ist, fragt man nach dem hier untersuchten Verhältnis des Digitalen zu ‚Ort und Zeit‘. Diese Kritik nämlich weist alphabetische Notation als ein System aus, das buchstäblich *aus der Zeit gefallen* ist:

Wer [...] glaubt, seine Kunst in Buchstaben zu hinterlassen, [...] der strotzte von Einfalt [...]. Denn dies Bedenkliche [...] haftet doch an der Schrift, und darin gleicht sie in Wahrheit der Malerei. Auch deren Werke stehen doch da wie *lebendige*, wenn du sie aber etwas fragst, so schweigen sie stolz. Ebenso auch die *geschriebenen* Reden. Du könntest glauben, sie sprächen, als ob sie etwas verstünden, wenn du sie aber fragst, um das Gesagte zu begreifen, *so zeigen sie immer nur ein und dasselbe an*.¹⁶

Mündliche Rede beziehungsweise *Dialogik* definiert sich also dadurch, dass sie genuin zeitbasiert, mithin immer in Bewegung ist; und sobald sie zum Halten kommt, hört sie auf, Dialogik zu sein. Schrift dagegen *steht still*. Diese Denkfigur markiert die Frage nach Leben oder Tod – wenngleich hier noch metaphorisch – als eine *Frage der Zeit(lichkeit)*, spezifischer als die Unterscheidung zwischen Bewegtheit und Unbewegtheit. Hierin verbirgt sich, soviel sei vorweggenommen, eine bemerkenswerte Affinität zu der Art und Weise, wie die moderne Physik diese Opposition handhaben und worauf auch die vorliegende Arbeit im weiteren Argumentationsverlauf rekurrieren wird. Und doch wäre aus der rhetorischen Ineinssetzung von Schreiben und Sterben kein solch wirkmächtiger Diskurs geworden, als welcher er sich in seiner modernen Fortführung präsentieren sollte, hätte die platonische Identifikation von Tod mit *Adialogizität* und *Stillstand* keine Erweiterung um ein weiteres Paradigma erfahren.

An dieser Stelle sei eine Eigentümlichkeit der platonisch-sokratischen Schriftkritik in den Blick genommen. So werden die qua Mythos dem Gott Theuth zugeschriebenen Erfindungen Arithmetik und Logik von dieser ausgenommen, obwohl der wissenshistorische Zusammenschluss beider Techniken, die Mathematik, sich doch „derart an die Schrift gekoppelt [zeigt], dass es kein mathematisches Wissen, keine Rechnung und keinen Beweis gibt, der sich nicht der Operationalität dieses spezifischen Mediums und seiner besonderen Struktur verdankte“¹⁷. Mathematik hat demnach ein schriftliches Apriori. *Kritik* am Medium wird also, ganz im Sinne der Etymologie – κρίνειν (*krínein*) als ‚unterscheiden‘ –, erst durch solche Fälle aktiviert, wo dessen Inhalt auch von einer anderen Art der Vermittlung, hier der mündlichen Unterredung, getragen werden könnte – im Unterschied zur *genuinen* Schriftlichkeit der Mathematik.

¹⁶ Platon 1988, 275c – Hervorhebung M. W.

¹⁷ Mersch 2006, 32.

Mit dieser Faltung der ‚Tod durch Schrift‘-Metapher auf die Kluft zwischen Mündlichkeit und Schriftlichkeit¹⁸ ist der Boden bereitet für einen weiten und doch nicht willkürlichen Sprung. Wie Werner Hamacher nachgezeichnet hat,¹⁹ sind Platons Ausführungen über die Schrift nämlich an einem diskursiven Ort des 19. und 20. Jahrhunderts in besonderem Maße wirkmächtig geworden: in der philosophischen Hermeneutik, also der Lehre vom Verstehen, angefangen beim Platon-Übersetzer und Protagonisten der romantischen Hermeneutik, Friedrich Schleiermacher. Der epochale Schritt, den Schleiermacher ging, war es, die Hermeneutik, „vordem eine spezielle Auslegungstechnik von Gelehrtenkasten“²⁰, von der Textexegese in eine allgemeine Kommunikationstheorie umzudeuten, die nun auch die mündliche Rede einschloss. Denn „[sehr oft]“, so Schleiermacher, „ergreife [ich] mich [...] mitten im vertraulichen Gespräch auf hermeneutische Operationen, wenn ich mich mit einem gewöhnlichen Grade des Verstehens nicht begnüge [...]“.²¹

Aufgrund dieser Erweiterung ist Schleiermacher auf medientheoretischer Seite bislang eher in seiner scheinbaren Medienvergessenheit als für technologische Weitsicht gewürdigt worden. In Friedrich Kittlers Analyse des *Aufschreibesystems 1800* erscheint der Theologe als paradigmatische Figur eines Diskurses, der über eine *Naturalisierung von Schrift* die Differenzen von Graphematik und Phonetik einzuebnen suchte. Metonymisch führt Kittler hierfür die um 1800 eingesetzte *Lautiermethode* an, welche das Lesenlernen am natürlichen Laut und nicht an Buchstaben- oder Silbenfragmenten ausrichtet, und nach der demnach auch Schleiermacher alphabetisiert wurde.²²

Diese Unterstellung einer paradigmatischen Schriftvergessenheit wird jedoch fragwürdig, lenkt man den Blick von Schleiermachers eigens zur Veröffentlichung freigegebenem Hauptwerk hin zu dessen Rändern. In einer marginalen und aus dem Haupttext seiner *Ethik* von 1812/13 ausgeschlossenen Randnotiz heißt es: „[...] Mitteilung durch Schrift allein ohne lebendige Dialogik wird immer Tod.“²³ Was Schleiermacher hier vorgibt, ließe sich als *Zwei-Kanal-Theorie* bezeichnen: Offenbar ist es möglich, sich sowohl im leibhaftigen Dialog als auch im Schriftmedium mitzuteilen, doch für den Fall, dass man

¹⁸ Zur platonischen Ineinsetzung von ‚Sprechen‘ mit ‚Leben‘ und ‚Schreiben‘ mit ‚Tod‘ siehe auch Derrida 1972/1995, 95.

¹⁹ Siehe Hamacher 1979, 118-124.

²⁰ Kittler 1979, 213.

²¹ Schleiermacher ⁵1993, 315.

²² Siehe Kittler ⁴2003, 65.

²³ Schleiermacher ⁵1993, 386, Fn. 211.

die Schrift wählt, geht etwas unwiederbringlich verloren – es ‚stirbt‘. Es sei an dieser Stelle nun zweierlei behauptet. Erstens, dass es sich bei dem, was gemäß Schleiermacher im Schriftmedium ‚stirbt‘, um den Körper des ehemals Sprechenden und nun Schreibenden handelt. Und zweitens, dass Schleiermachers Formulierung ‚Mitteilung durch Schrift allein‘ hinreichend genau dem entspricht, was bei Claude Shannon rund eineinhalb Jahrhunderte später die ‚Nachricht‘ heißen wird: die rein syntaktische Ebene von Kommunikation, welche sich in diskreten Zeichen notieren lässt und die ihrerseits unabhängig ist von ihrer konkreten physikalischen Verkörperung.²⁴

Nirgendwo in der schrifttheoretisch-hermeneutischen Tradition findet sich dieses *Entkörperlichungsparadigma* pointierter als am vorläufigen Endpunkt von Hamachers Genealogie, der von der philosophischen Hermeneutik Hans-Georg Gadamer besetzt ist.²⁵ Auch Gadamer pflichtet der von Platon soufflierten Feststellung zu, dass Verschriftlichung der mündlichen Rede in erheblichem Maße Gewalt antut, ist dabei in seiner Wortwahl allerdings zunächst vorsichtiger als Schleiermacher, indem er statt von ‚Tod‘ nunmehr von einer ‚Selbstentfremdung‘ der Rede im Schriftmedium spricht:

Alles Schriftliche ist [...] eine Art entfremdete Rede und bedarf der Rückverwandlung der Zeichen in Rede und in Sinn. Weil durch die Schriftlichkeit dem Sinn eine Art von Selbstentfremdung widerfahren ist, stellt sich diese Rückverwandlung als die eigentliche hermeneutische Aufgabe.²⁶

Der entscheidende Zusatz lautet wie folgt: „Die Auslegung von Schriftlichem hat im Gegensatz zum gesprochenen Wort keine andere Hilfe. [...] *Gesprochenes Wort legt sich in erstaunlichem Grade von selber aus, durch die Sprechweise, den Ton, das Tempo usw.* [...]“²⁷ Nun sind Sprechweise, Ton und Tempo genau jene kommunikativen Signale im mündlichen Dialog, welche an die physikalischen Körper der Gesprächsteilnehmer gebunden sind. Vorstellungen eines Sprechenden sind für den Interpreten also niemals direkt zugänglich, am Unverstelltesten jedoch stellen sie sich im *leiblichen* Äußerungsakt dar. Schrift hingegen

²⁴ Siehe dazu auch Kapitel 5.1 der vorliegenden Arbeit. Dieser Blick auf Schleiermachers Schrifttheorie unterscheidet sich deutlich von der Analyse Kittlers. Was diese im Anschluss an Saussures Strukturlinguistik am romantischen Schriftdiskurs herausstellt, ist dessen Ausblendung der *materiellen* Verfasstheit des Signifikanten (als Laut- respektive Schriftbild) zugunsten einer Überfokussierung des Signifikats (als Vorstellung oder Bedeutung). Siehe dazu Kittler ⁴2003, 302 sowie zur Begrifflichkeit Saussure ²1967, 30; 76-79. Dagegen lautet der hiesige Vorschlag, gerade in Schleiermachers Ausspielen der *dematerialisierenden* Funktion von Schrift gegen die ‚lebendige Dialogik‘ eine prognostische Qualität zu erkennen. Genau diese Bewegung, nach der sich die „materiellen (akustischen/physiologischen) Repräsentationen der Sprache [...] durch [...] Konvertierung in logische Syntax entvokalisiert und entmaterialisiert“ (Kay 2000/2001, 392) finden – sie wird um 1950 modellbildend, wenn nämlich eine informationstheoretisch angereicherte Linguistik zur Umdeutung von Saussures Lehre schreitet.

²⁵ Siehe Hamacher 1979, 118f.

²⁶ Gadamer ⁶1990, 397.

²⁷ Ebd. – Hervorhebung M. W.

entfremdet die Rede von sich selbst, da sie die Nachricht von ihrer – um einen zeitgenössischen *terminus technicus* aufzugreifen – materiellen *Implementierung*, also in diesem Falle: vom menschlichen Körper, abstreift.²⁸

„Es sind [...] die Laute“, heißt es bei Aristoteles, „zu denen die Stimme gebildet wird, Zeichen der in der Seele hervorgerufenen Vorstellungen, und die Schrift ist wieder ein Zeichen der Laute.“²⁹ Seele – Laute – Schrift: Es sind dieser Dreischritt von einem Imaginären (Seele) über ein Reales (Stimme, mithin Schallwellen) hin zur symbolischen Fixierung (Schrift) und im Besonderen die letztgenannte Transformation, welche für Schleiermacher und Gadamer das hermeneutische Problem darstellen.³⁰ Löst man diese Struktur von ihrer Bindung an die Probleme der Textexegese, erlaubt sie den Anschluss an zwei Leitoppositionen der zeitgenössischen Medientheorie.

2.2. Bateson/Watzlawick/Lacan: Analoge vs. digitale Kommunikation und Reales vs. Symbolisches

Dass zunächst *Schriftlichkeit*, insbesondere nach Gadamers Ausführungen, bereits als *Digitalität* bezeichnet werden kann, lässt sich mit einer Unterscheidung begründen, die Gregory Bateson in seiner Schriftensammlung *Steps to an Ecology of the Mind* aufstellt, wo er zwischen *analogen* und *digitalen* Registern der Kommunikation unterscheidet. Unter die *analogen* Anteile in Gesprächen fällt demnach exakt das, was Gadamer als die Vehikel der

²⁸ Dieses *Entkörperlichungsparadigma* ist nicht zuletzt im französischen (Post-)Strukturalismus prominent geworden. Lediglich um die diskursübergreifende Tragweite der „Tod durch Schrift“-Metapher aufzuzeigen, sei an dieser Stelle auf drei dortige Spielweisen dieser Rede verwiesen. So entwirft Roland Barthes mit seiner berühmten These vom „Tod des Autors“ gerade keine *diachrone* Diagnose (im Sinne des Postulats einer vorangegangenen ‚Lebendigkeit‘ des Autors), sondern behauptet schon ganz zu Anfang seines Essays, dass Autorschaft *immer* schon ‚Tod‘ ist: So sei Schrift „der unbestimmte, uneinheitliche, unfixierbare Ort, wohin unser Subjekt entflieht, das Schwarzweiß, in dem sich jede Identität aufzulösen beginnt, angefangen mit derjenigen des schreibenden Körpers.“ (Barthes 1968/2000, 185) Wenn Maurice Blanchot formuliert, Worte würden das Bezeichnete der „Wirklichkeit aus Fleisch und Blut“ berauben, so bezeichnenderweise in einem Text namens *Die Literatur und das Recht auf den Tod* (Blanchot 1981/1993, 31). Oder aber Jacques Derrida, der in *Signatur Ereignis Kontext* anmerkt: „Schreiben heißt, ein Zeichen [...] produzieren, das eine [...] Maschine konstituiert, die durch mein zukünftiges Verschwinden prinzipiell nicht daran gehindert wird, zu funktionieren und sich lesen und nachschreiben zu lassen. Damit ein Geschriebenes ein Geschriebenes sei, muß es weiterhin ‚wirken‘ und lesbar sein, selbst wenn der sogenannte Autor des Geschriebenen nicht entsteht für das, was er geschrieben hat, was er gezeichnet zu haben scheint, sei es, daß er vorläufig abwesend ist [oder] daß er tot ist [...]“ (Derrida 1971/1988, 299) Da Jacques Lacans Begriff des *Symbolischen*, in dessen Kontext die Metapher ebenso fällt, für die Medientheorie eine besondere Rolle einnimmt, wird er im Folgekapitel gesondert thematisiert.

²⁹ Aristoteles ²1974, 94.

³⁰ Bei Platon findet sich diese dematerialisierende Funktion von Schrift allenfalls angedeutet. Zwar lässt er Sokrates im *Phaidros* formulieren, „daß jede Rede in sich bestehen muß wie ein lebendiges Geschöpf, das seinen eigentümlichen Leib hat, so daß ihm weder Fuß noch Kopf mangle“ (264b), wobei es sich allerdings um eine Metapher für die ideale rhetorische Komposition handelt. Auch findet sich im *Phaidon* eine Definition vom Leib (*sôma*) als demjenigen, was sich „niemals gleich“ verhalte; als das stabile, „immer auf gleiche Weise sich verhaltend[e]“ Gegenstück wird dabei jedoch nicht Schrift, sondern die Seele (*psychê*) angeführt. Siehe Platon: *Phaidon* 79a-c, zit. nach Schmidt 2004, 213.

Selbstausslegung im mündlichen Dialog benennt: etwa die Ausformungen einer Geste, die Lautstärke der Stimme oder die Länge einer Gesprächspause.³¹ Bateson, seinerseits Teilnehmer der legendären Diskussion über die *analog/digital*-Unterscheidung auf der 7. *Macy Conference* im Jahre 1950,³² nennt diese Komponenten *analog*, da ihnen prinzipiell unendlich viele Niveaustufen zur Verfügung stehen, sie also niemals vollständig zu quantifizieren sind. Gleichzeitig stehen, so Bateson weiter, diese Niveaustufen analog zu der jeweiligen Botschaft, die durch sie getragen wird, *analog* im Sinne einer kommunikativen Proportionalität: „In analogic communication [...] real magnitudes are used, and they correspond to real magnitudes in the subject of discourse.“³³ Wie schon Gadamer schlägt Bateson die kommunikative Semantik, also den ‚Sinn‘, dieser physikalischen Äußerungsebene zu.³⁴ Hiermit sind die zwei zentralen Bedeutungen von ‚analog‘ abgedeckt, *kontinuierlich* und *analogisch*, die noch heute in der medientheoretischen Debatte fortwirken.³⁵

Als *digital* bezeichnet Bateson umgekehrt jene syntaktische Ebene innerhalb eines Gesprächs, welche sich auf diskrete Zeichen abbilden lässt – und damit in letzter Konsequenz auf die binäre Unterscheidung von 0 und 1.³⁶ Dies aber kündigt nicht nur jedwede proportionale Verknüpfung mit dem Referenten auf, sondern eskamotiert auch die physikalischen Spuren der Artikulation: Wie etwa das Wort „table“, nach Batesons Beispiel, völlig von den qualitativen Eigenschaften des Dinges „Tisch“ abstrahiert und das Wort „big“ nicht größer ist als das Wort „little“,³⁷ streift auch die Verschriftlichung einer Rede die unendlich vielen Niveaustufen ab, die ihr einst in punkto Prosodie oder Begleitkommunikaten wie Mimik oder Gestik zur Verfügung standen. *Abzählbarkeit* und *Arbitrarität*,³⁸ diese beiden Kriterien seien dafür gesetzt, was diese Arbeit im Folgenden als ‚di-

³¹ Siehe Bateson 1972/2000, 374.

³² Siehe Foerster (Hg.) 1950/2003, 165–202. Für eine Rekonstruktion dieses Dialogs sowie zu dessen symptomatischer Bedeutung für Folgedebatten siehe Pflüger 2005.

³³ Bateson 1972/2000, 373.

³⁴ „If you say to a girl, ‚I love you,‘ she is likely to pay more attention to the accompanying kinesics and paralinguistics than to the words themselves.“ (Ebd.)

³⁵ Siehe etwa Pflüger 2005, 27 sowie Ernst 2004, 60: „In der von Grammophon, Mikrofon, Radio und Fernsehen vertrauten analogen Datenübertragung entspricht das vom Sender erzeugte Signal der Nachricht durch *Proportionalität*, d.h. es folgt *allen* ihren Veränderungen im Raum und/oder in der Zeit.“ (Hervorhebung M. W.)

³⁶ Auch wenn es Bateson um menschliche Kommunikation geht, lässt sich seine Unterscheidung durchaus auch auf apparative und vor-apparative Kommunikationstechnologien beziehen. So wäre etwa in der Feuertelegraphie das binäre Schema *digital* und die Realisierung durch Feuer die *analoge* Komponente. Es sei der Vorgriff geboten, dass diese Unterscheidung identisch ist mit Shannons Opposition von ‚Nachricht‘ und ‚Signal‘. Siehe dazu Kapitel 5.1 der vorliegenden Arbeit.

³⁷ Bateson 1972/2000, 373.

³⁸ Mit der Betonung des zweiten Kriteriums sei unterstrichen, dass nicht alles, was abzählbar (*diskret*) ist, deshalb auch *digital* im Sinne dieser Arbeit ist. „Essbare Signifikanten wie Russisch Brot oder Buchstabensup-

gitalen Code³⁹ bezeichnen wird. Somit lässt sich die von Platon diskutierte und über Jahrhunderte praktizierte Transformation von körpergebundener Dialogik in Schrift bereits mit einem Kernbegriff der technischen Informatik bereits als *Analog-Digital-Wandlung* bezeichnen, mithin als „Quantisierung [eines kontinuierlichen Signalverlaufs] in gleichmäßigen Stufen [...]“.⁴⁰

Offensichtlich ist ‚Digitalität‘ mit Bateson also nicht auf *binäre* Codierungen reduzierbar. Umgekehrt ermöglicht die entkörperlichende Tendenz des Digitalen, dass es überhaupt logische Operationen geben kann – denn „in purely analogue [...] communication there is no signal for ‚not‘“⁴¹. Paul Watzlawick, Janet H. Beavin und Don D. Jackson sind in ihrer Adaption von Batesons Kommunikationstheorie explizit den Schritt hin zur Medientheorie gegangen, indem sie auf die Schwierigkeiten zu sprechen kamen, in Analogcomputern, da diese „mit tatsächlichen, positiven Größen arbeiten“, eine Negation auszudrücken.⁴² In den willkürlich festgelegte[n] Kodifizierungen“⁴³, mit denen Digitalcomputer rechnen, kann dagegen ein materiell positiver Zustand gleichzeitig sein Gegenteil bedeuten. Gewiss ist von einer *Digitalität als Tod* bei den Autoren nicht die Rede. Wenn es allerdings in Opposition zum Digitalcomputer heißt, dass „jene Rechner, die heutzutage ausschließlich mit elektrischen Strömen, Widerständen, Rheostaten und dergleichen ar-

pe sind [...] ein Sonderfall.“ (Winkler 2008, 212) Dann aber, so ist zu ergänzen, sind sie keine Signifikanten mehr. Mit Charles S. Peirce gesprochen, *Symbole* bedürfen der „drittheitlichen“, also intellektuellen Verknüpfung mit dem Bezeichneten und gehen niemals in einer bloß mechanischen (*Index*) oder abbildenden (*Ikone*) Funktion auf (vgl. Peirce 1940/1955, 104-114) – und die Pointe digitaler Computer besteht laut Frieder Nake darin, dass sie diesen Übersetzungsprozess (wenn auch strikt determiniert) ihrerseits als Überführung einer symbolischen Instruktion in eine Operation innerhalb des Prozessors durchführen (vgl. Nake 2004, 218).

³⁹ Für den Codebegriff knüpft diese Arbeit vorbehaltlich einer Einschränkung an die Definition von Lili E. Kay an, die unter „Code“ eine „Beziehung zwischen zwei unterschiedlichen sprachlichen Systemen“ (Kay 2001, 48) versteht. Vorausgesetzt sei an dieser Stelle jedoch nicht, dass Codes immer schon zwischen *zwei Sprachsystemen* vermitteln – dann nämlich könnte es keinen Code geben, der ein analoges Signal quantifiziert –, vielmehr ist die *Möglichkeit* solcher Vermittlungen ausschlaggebend, die unmittelbar aus dem arbiträren Charakter von Symbolen resultiert: Jedes endliche Alphabet kann in ein anderes umcodiert werden. Der Begriff ‚digitaler Code‘ mag daher zunächst tautologisch erscheinen, insofern als Sprache, zumindest nach der Saussure'schen Strukturlinguistik, die *Differentialität* ihrer Elemente grundsätzlich voraussetzt und deshalb im Grunde stets ‚digital‘ ist. Siehe Saussure ²1967, 142f. Wenn Codes *zwischen* Sprachen vermitteln können, muss für sie mithin das Gleiche gelten. Dass diese Arbeit dennoch an dem Epitheton ‚digital‘ festhält, hat diskurspragmatische Gründe, die erstens auf den universalistischen Gebrauch des Wortes ‚Code‘ reagieren, wie er insbesondere von Vilém Flusser praktiziert wurde. So wird bei Flusser bisweilen der Output jeglicher (also auch *analoger*) Medien pauschal als ‚Code‘ bezeichnet, siehe etwa Flusser 1992, 26-34. Zweitens hat Wolfgang Schäffner kürzlich den Neologismus des ‚analogen Codes‘ in den Diskurs eingebracht, den der Autor anhand der euklidischen Geometrie entfaltet. Anders als im allein auf Differentialität gründenden *digitalen* sind in besagtem ‚analogen‘ Code die konkreten Abmessungen eines seiner zentralen Operatoren, der Linie, tatsächlich entscheidend (siehe Schäffner 2010).

⁴⁰ Meffert/Hochmuth 2004, 40.

⁴¹ Siehe Bateson 1972/2000, 291.

⁴² Watzlawick/Beavin/Jackson 1967/⁹1996, 66.

⁴³ Ebd., 62.

beiten, [...] praktisch unkontrollierbaren Schwankungen [unterliegen]“⁴⁴, rückt dies das Digitale *ex negativo* in die Nähe nicht nur des *Entkörperlichungs*-, sondern zugleich des platonischen Paradigmas der *Stillstellung*.

Dort, wo 0 und 1 austauschbar werden, die Abwesenheit positiv und „das Nein ein Maschinenzustand“⁴⁵, findet sich nicht nur das Digitale nach Bateson, sondern schließlich auch das Symbolische in der *methodischen Distinktion* von Jacques Lacan. Eine der konzisesten Passagen, wo Lacan besagte Unterscheidung zwischen *Realem*, *Imaginärem* und *Symbolischem* greifbar macht, ist die Diskussion einer Textstelle aus Sigmund Freuds *Jenseits des Lustprinzips*. Freud erinnert sich dort an einen Moment, wo er seinen Enkel beim Spielen mit einer Holzspule beobachtete und dieser sein Spielzeug immer wieder mit Schwung über den Rand seines Bettchens schleuderte. Immer wenn die Spule ‚verschwunden‘ war, stieß das eineinhalb Jahre alte Kind die Lautfolge *o-o-o-o* aus, die Freud als ‚fort‘ deutet – denn immer dann, wenn sich die Spule wieder im Blickfeld des Jungen befand, rief dieser ein freudiges ‚da‘ aus. In Freuds Lesart erfüllte dieses Spiel eine kompensatorische Funktion, nämlich eine Regulierung des Triebverzichts, der durch das Fortgehen der Mutter aus dem Kinderzimmer ausgelöst worden war.⁴⁶

Obleich Lacan dieses Szenario explizit nur zur Entfaltung seiner Definition des Symbolischen benutzt, treten auch die zwei anderen Register hier sehr pointiert hervor. Der reale Bestandteil im Dreieck *Spule/Mutter/Sprache* ist demnach die Holzspule: ein materielles Objekt von bestimmter Masse und Trägheit, das im Akt des Schleuderns mit einer messbaren Geschwindigkeit eine Trajektorie im Raum zurücklegt (wobei die Verzifferung dieser physikalischen Parameter in Messwerte bereits eine symbolische Operation wäre). In der vielleicht prägnantesten aller denkbaren Definitionen: „Das Reale ist das physikalisch Faktische.“⁴⁷ Das Imaginäre, mithin „*die Welt der sinnhaften Beziehungen, im wei-*

⁴⁴ Ebd., 65.

⁴⁵ Kittler 1991, 201.

⁴⁶ Vgl. Freud 1920/1999, 12f.

⁴⁷ So Friedrich Kittlers bestechend positive Definition jenes Registers, das anderswo als „dunkel“ und bloß negativ (mithin als *nicht-symbolisch* und *nicht-imaginär*) bestimmbar registriert wird (siehe Kloock/Spahr ²2000, 189). Kittler hat diese Definition im bislang unpublizierten zweiten Teil seiner Vorlesung *Eine Kulturgeschichte der Kulturwissenschaft* gegeben, höre Kittler 2007, 31'49-31'51. Kittlers anderenorts vorgeschlagene Identifikation des *Realen* mit dem *Reellen* – eine Übertragung, die der Autor nicht nur auf die Homophonie beider Begriffe im Französischen, sondern zuvorderst an die arithmetische Klasse der *reellen* Zahlen anlehnt (siehe Kittler 1993c, 65-68) – übernimmt die vorliegende Arbeit gleichwohl nicht. Auch wenn es zutrifft, dass reelle Zahlen die Mächtigkeit besitzen, physikalische Kontinua zu beschreiben, wäre auch diese Verzifferung bereits ein *symbolischer* Vorgang. Auch vor dem Hintergrund von Alan Turings Arbeit über *berechenbare Zahlen* (1936) verliert der Begriff des Reellen jegliche Bindung an das ‚physikalisch Faktische‘, wenn Turing nämlich reelle, also unendliche Ziffernfolgen über endliche symbolische Befehle anschreibbar macht (siehe Turing 1936/2004, 58-63). Mai Wegener formuliert daher mit Recht, dass Kittlers *real/reell-I-*

testen Sinne das Psychisch-Soziale“⁴⁸, wird durch die Bezugnahme auf die Mutter abgedeckt, als Beieinander des kindlichen Wunsches nach Nähe sowie der Möglichkeit von Versagung.⁴⁹

Das Symbolische wiederum bringt Lacan eben dort in Anschlag, wo das Kind die Abwesenheit – sei es jene der Spule oder jene der Mutter – mit den Lauten *o-o-o-o* anspricht, womit die Nähe zu Bateson evident wird. Hier wie dort markiert die Adressierung von Abwesenheit den Extremfall symbolischer Austauschbarkeit und pointiert die materievertilgende Prozesslogik digitaler Codierungen überhaupt: „Durch das Wort, das bereits eine Anwesenheit darstellt, die auf Abwesenheit gründet, erhält in einem besonderen Augenblick die Abwesenheit selbst einen Namen.“⁵⁰ Dies heißt, dass sprachliche Codierung letztlich immer schon Negation ist, nämlich Nivellierung des ‚physikalisch Faktischen‘, weshalb – und dies schließt den rhetorischen Kreis, den dieses Kapitel abzustecken versucht hat – auch Lacan auf die biologische Metapher zurückgreift und vom Symbol als „Mord der Sache“ (*meurtre de la chose*) spricht.⁵¹ Zugleich stützt Lacans Symboltheorie das hiesige Programm, *Digitalität* nicht erst mit dem Advent des Computers beginnen zu lassen, in dem für Lacan die grundsätzliche Austauschbarkeit oder Arbitrarität von Symbolen mit der maschinellen Befehlsgewalt kulminiert, die in ihnen schon immer angelegt ist.⁵² Deshalb ist die digitale Rechenmaschine Lacans bevorzugtes Modell für die Prozesslogik der Signifikanten, das sich gleichwohl rückblickend auch auf gedruckte Texte und sprachliche Vermittlung überhaupt applizieren lässt.⁵³

dentifikation auf „eine[] Implosion von Realem und Symbolischem“ (Wegener 2012, 82) abzielt. Auch wenn solche Überlappungen in Kapitel 5.5.3 dieser Arbeit durchaus thematisch werden, ist es im hier diskutierten Spannungsfeld von physikalischer Materialität und digitaltechnischer Immaterialität wichtig, von einer analytischen Diskrepanz zwischen diesen Registern auszugehen. Auf die Frage „Sind die Zahlen das Seiende oder zählen sie das Seiende?“ (Berz 2012, 57) antwortet diese Arbeit also entschieden: letzteres.

⁴⁸ Haas 2012, 28 – Hervorhebung i. O.

⁴⁹ Vgl. Laquière-Waniek 2012, 195.

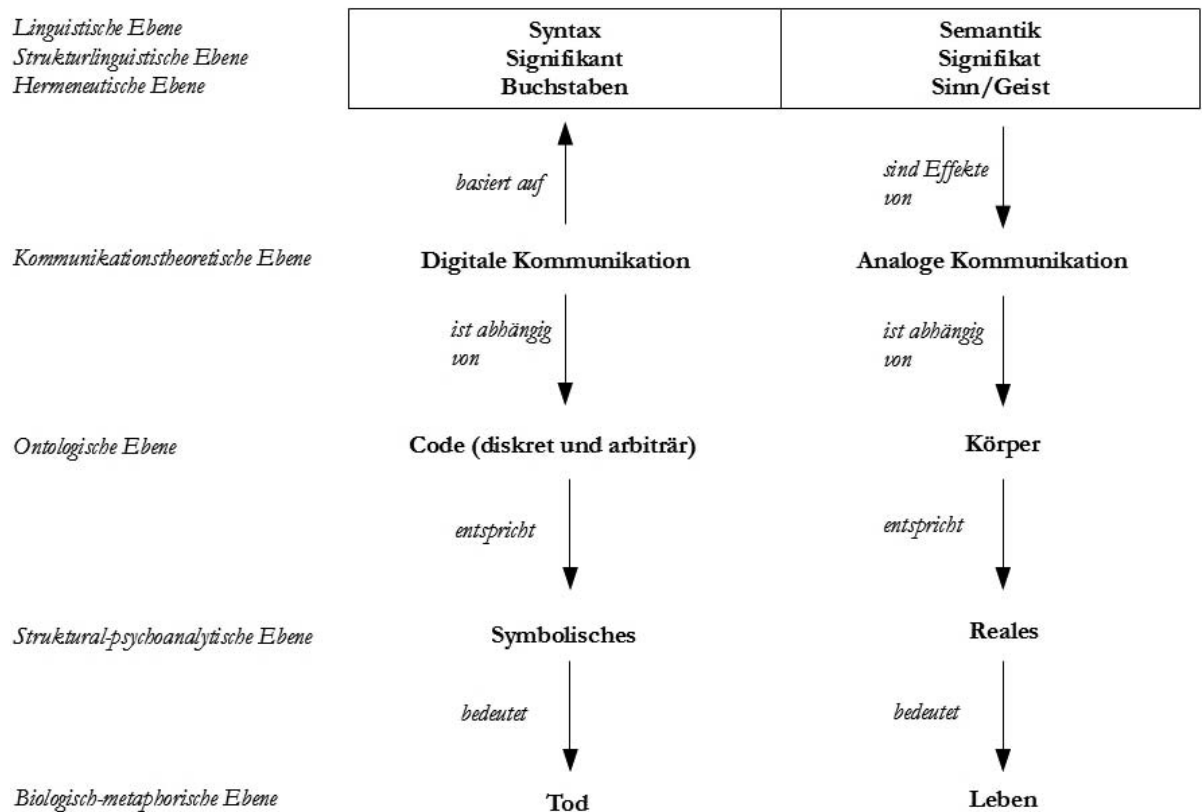
⁵⁰ Lacan ³1991a, 116.

⁵¹ Ebd., 166.

⁵² Friedrich Kittler hypostasiert das Apriori von Lacans Konzeption des *Symbolischen* auf die Einführung der Schreibmaschine, die als erste „eine Schrift [geliefert habe], die Selektion aus dem abgezählten und geordneten Vorrat ihrer Tastatur ist“ (Kittler 1986, 28f.). Der Umkehrschluss, dass es während des Monopols von Handschrift kein wenn auch latentes Denken über symbolische Abzählbarkeit gegeben habe, ginge jedoch fehl, da jedes Alphabet, unabhängig von seiner physikalischen Implementierung, auf kleinsten unteilbaren Einheiten beruht und damit einen *impliziten* Begriff von Digitalität immer schon voraussetzt.

⁵³ „Anders ausgedrückt, selbst wenn das Wort meines Lebens in etwas so Langem wie einem ganzen Gesang der *Aneis* zu suchen wäre, ist es nicht undenkbar, daß es einer Maschine mit der Zeit gelingt, es zu rekonstituieren. Nun kann jede Maschine auf eine Reihe von Relais reduziert werden, die einfach aus *Plus* und *Minus* bestehen. Alles in der symbolischen Ordnung kann mit Hilfe einer derartigen Abfolge dargestellt werden.“ (Lacan ²1991, 235 – Hervorhebung i. O.)

Folgendes Diagramm fasst die in diesem Kapitel vorgenommenen Argumentationsschritte zusammen:



So können Theorien des Digitalen, selbst wo sie explizit weder von Digitalität noch von Tod sprechen, mithilfe dieses Schemas in die hiesige Genealogie eingereiht werden. Sei es die klassische Psychoanalyse in Stellvertretung von Sigmund Freud und seiner Maxime „Buchstaben kommen [...] in freier Natur nicht vor“⁵⁴ (1899); sei es die numerische Mathematik oder Informatik *avant la lettre* mit John von Neumanns Diktum, dass „unsere Kenntnis von Technik und Physiologie kaum einen Hinweis“ darauf bereithalte, „daß Ja-Nein-Organen im strengen Sinne des Wortes existieren“⁵⁵ (1948); sei es schließlich die gegenwärtige Medientheorie mit der Diagnose, dass „ein Bit Information [...] noch niemand in freier Wildbahn gesehen“⁵⁶ habe (2003): All diese Positionen insistieren darauf, dass Digitalcomputer wie auch Bücher – auf die Freuds „Buchstaben“ notwendig zu beziehen sind – etwas zutiefst Unnatürliches sind.

⁵⁴ Freud, Sigmund (1899/1956-1968): *Die Traumdeutung*, in: Ders.: *Gesammelte Werke*. Chronologisch geordnet, hg. v. Anna Freud et al. Frankfurt am Main: Fischer, II/III 284, zit. nach Kittler 2003, 39.

⁵⁵ Neumann, John von (1948/1967): „Allgemeine und logische Theorie der Automaten“, *Kursbuch* 8, S. 139-175, hier: 150, zit. nach Kittler 1986, 360.

⁵⁶ Pias 2003, § 50.

Fokussieren wir an dieser Stelle kurz die Wendung von Neumanns, die sich von den anderen beiden dadurch unterscheidet, dass sie auf den offenkundigen Widerstreit zwischen realweltlicher Implementierung und symbolischer Operativität, mithin Logik abhebt: Leicht paraphrasiert bringt sie zum Ausdruck, dass es durchaus möglich ist, einem Schalter oder Relais bei der Arbeit zuzusehen – dass hingegen ein Computer, in den eben diese Schalter eingebaut sind, deren Stellungen als binäre Algebra ausliest und das kontinuierliche Spektrum an Werten *zwischen* den beiden Extremwerten ignoriert, stellt Sprache über Natur; hebt den blinden Gehorsam gegenüber dem ‚physikalisch Faktischen‘ durch symbolische Kontrolle aus.

Friedrich Kittler ist, in Anlehnung an von Neumann, dieser behaupteten Unnatürlichkeit des Digitalen mit der Kritik begegnet, dass „Digitalrechner als einzige ‚Ja-Nein-Organ‘ im strengen Sinne des Wortes‘ weiterhin einer [...] Umwelt aus Wolken, Kriegen und Wellen gegenüber[stehen]“⁵⁷. Dass es nicht zuletzt Wolken und Wellen sind, auf die Kittler *gegen* das Regime der digitalen Zeichenökonomie zu sprechen kommt, stützt das dieser Arbeit zugrunde gelegte methodische Programm: Die erkenntnistheoretische Pointe von symbolischen Codierungen und digitaler Zeichenmanipulation ist nicht ohne den theoretischen Umweg über die moderne Physik zu fassen. An welchem konkreten Theorem hierbei Maß zu nehmen sein wird, ergibt sich unmittelbar aus dem bisher Gesagten. So haben sich durch die Linie *Platon-Schleiermacher-Gadamer* zwei Grundprinzipien herauskristallisiert, welche die Trope vom *Tod durch Schrift*, oder, wie es diese Arbeit verallgemeinern möchte, vom *Tod durch Digitalität*, mit Inhalt füllen: Verschriftlichung heißt erstens Stillstellung und zweitens Entkörperlichung. Hiermit ist ‚Leben‘ *ex negativo* als ein Vorgang ausgewiesen, der erstens *in der Zeit* und zweitens *in der materiellen Welt* verankert ist. Deshalb ist die schrifttheoretische Metaphorik im Folgenden mit jenem naturwissenschaftlichen Theorem zu konfrontieren, welches die Verschränkung von Materie und Zeit, wie sie Platon, Schleiermacher und Gadamer als Kennzeichen des ‚Lebens‘ vorgeben, im 19. Jahrhundert auch physikalisch fundiert hat: dem *Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik* und seiner zentralen Messgröße, der Entropie.

⁵⁷ Kittler 1993f, 240.

3. *Fundierung*: Über Leben und Tod im (bio-)physikalischen Sinne

3.1. Physikalisch-mathematische Grundlagen: Entropie und Zeit/losigkeit

Gegenstand dieses Kapitels kann weder eine historische Herleitung des „Entropiediskurses“⁵⁸ in Gänze noch eine erschöpfende Aufarbeitung des Forschungsstandes zu diesem Themenkomplex sein.⁵⁹ Das Ziel besteht vielmehr darin, Entropie als ein formal zwar wohldefiniertes und doch bereits in sich mehrdeutiges Konzept herauszustellen, das entgegen fälschlicher Gleichsetzungen von Entropie etwa mit der „inevitable and steady deterioration of a system“⁶⁰ auch Zustände extremer *Ordnung* und – dies wird für die Folgekapitel maßgeblich sein – Momente des *Stillstandes* anzuschreiben in der Lage ist. Dieses Kapitel versteht sich somit gleichzeitig als Fundament und formaler ‚Werkzeugkasten‘ für die anschließenden Analysen der Theorien von Schrödinger, Wiener und Shannon.

Vom Begriff der Entropie zu sprechen, kann gleichwohl nicht gelingen, ohne ein kurzes Schlaglicht auf die technischen Bedingungen zur Zeit seiner Genese zu werfen. Wenn ‚epistemische Dinge‘ nach Hans-Jörg Rheinberger das „verkörpern [...]“, was man noch nicht weiß“⁶¹, dann ist das ‚epistemische Ding‘ der Thermodynamik, die den Entropiebegriff hervorgebracht hat, die 1782 erstmals gebaute Dampfmaschine.

Generell arbeiten alle Dampfmaschinen gleich: in ihnen wird Kohle verbrannt und dadurch Wasser erhitzt, bis es zu Dampf wird. Der Druck des Dampfes wird dazu verwendet, Kolben auf und ab zu bewegen oder ein Turbinenrad zu drehen – ein einfacher Mechanismus.⁶²

Da nun aber diese ‚einfache‘ Maschine ohne explizite Theorie erfunden wurde,⁶³ stand die Frage, wie sich ein Maximum an Arbeit aus ihr gewinnen ließe, noch zur Verhandlung. Ein entscheidender Schritt zu ihrer Beantwortung lieferte im Jahr 1824 der Franzose Sadi Carnot, als er entdeckte, dass die durch eine Dampfmaschine erzeugte Kraft durch das Ausnutzen eines Temperaturgefälles in ihrem Inneren erklärt werden kann.⁶⁴ Genauer, chemische Energie transformiert sich in Wärme und diese wiederum in kineti-

⁵⁸ Kassung 2001, 7.

⁵⁹ Für eine historische Epistemologie dieses Diskurses siehe ebd., 132-260; zum Forschungsstand siehe etwa – einschließlich umfassender Bibliographien – Leff/Rex (Hg.) 1990 zum Verhältnis von Entropie und Information sowie Leff/Rex (Hg.) 2003 in Zuspitzung auf die Quantenphysik.

⁶⁰ Definition im *Online Free Dictionary*, zit. nach Ben-Naim 2010, 13.

⁶¹ Rheinberger 2002, 25.

⁶² Coveney/Highfield 1990/1992, 191.

⁶³ Vgl. Wolkenstein 1986/1990, 10.

⁶⁴ Vgl. Carnot 1824/1995, 11. Für eine Rekonstruktion der Carnot'schen Argumentation siehe Kassung 2001, 134-142.

sche Energie.⁶⁵ Daraus folgt zunächst, dass Energie niemals verloren geht, sondern allenfalls umgewandelt werden kann (*Erster Hauptsatz der Thermodynamik*).⁶⁶ Carnots entscheidender Zusatz lautete allerdings, dass es für die maximal mögliche Arbeit einer Dampfmaschine quasi eine natürliche Obergrenze gibt und Energie sehr wohl *unbrauchbar* werden kann. Dieses unhintergehbare Faktum drückte der Physiker Rudolf Clausius später mit den Worten aus, dass Wärme zwar von einem wärmeren auf einen kälteren, jedoch „nicht von selbst von einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen [kann]“⁶⁷, formal

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T_B} - \frac{\Delta Q}{T_A},^{68} \quad (3.I)$$

wobei ΔQ die zwischen den beiden Körpern A (warm) und B (kalt) ausgetauschte Wärmemenge und T die Temperatur dieser Körper angeben. Da nun T_A größer ist als T_B , wächst die Größe S notwendig an. Diese Größe nannte Clausius ‚Entropie‘, als Verdeutschung seines eigenen Kunstwortes *έντροπία* für ‚Umwandlung‘,⁶⁹ obwohl sie – ein begriffliches Paradox, das im ‚Entropiediskurs‘ lange nachhallen sollte⁷⁰ – eben die *unbrauchbar* gewordene oder „nicht mehr transformationsfähige Energie“⁷¹ eines Systems bezeichnet. Ihren maximalen Wert erreicht sie, sobald alle Temperaturdifferenzen ausgeglichen sind und das Wandlungspotenzial zwischen den Körpern ausgeschöpft ist, woraufhin es weder verfügbare Energie noch weitere Entropieänderungen gibt (*thermodynamisches Gleichgewicht*).⁷² Hiermit fungiert die Entropie als Maßzahl dessen, was als *Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik* Epoche gemacht hat, der in seiner *energetischen* Lesart also besagt, dass „bei jeder Energieumwandlung [...] ein Teil der Energie unwiederbringlich in Wärmeenergie über[geht]“.⁷³

Wo Transformationen zwischen Körpern als *unumkehrbar* ausgewiesen werden, sind die zeitphilosophischen Implikationen leicht zu ersehen. Naturvorgängen ist nun eine

⁶⁵ Vgl. Weizsäcker ²2006, 50.

⁶⁶ Vgl. ebd., 49f. sowie Kassung 2001, 152f. Diese Numerik ist nicht unumstritten, so datiert Kassung – im Anschluss an Emilio Segrè – den *Zweiten Hauptsatz* bereits auf Carnots Text von 1824 und seine Akzeptanz weit vor jene des *Ersten Haupt-* respektive *Energieerhaltungssatzes* (siehe ebd., 147).

⁶⁷ Clausius ³1887, 81.

⁶⁸ Kassung 2001, 180.

⁶⁹ Siehe Clausius 1865, 390.

⁷⁰ Siehe die Ausführungen zu Schrödinger in Kapitel 3.2 der vorliegenden Arbeit.

⁷¹ Rosenberger 1887, 412.

⁷² Vgl. Cerbe/Hoffmann ⁹1990, 25; Schlegel ²1981, 504f.; Coveney/Highfield 1990/1992, 196.

⁷³ Coveney/Highfield 1990/1992, 189.

eindeutige Richtung zugewiesen, die durch sukzessive fortschreitende Energiedissipation definiert ist. „We may say [...] that the progression of states of continually increasing entropy is the same as a past-to-future series in time.“⁷⁴ Max Planck nannte dies die „*Vorliebe* der Natur für einen Zustand“⁷⁵, Sir Arthur Eddington den thermodynamischen „Zeitpfeil“⁷⁶ und Carl Friedrich von Weizsäcker „Geschichtlichkeit der Natur“⁷⁷.

Allein, jede Rede von *Irreversibilität* setzt notwendig ein anderenorts gegebenes Versprechen *reversibler* Prozesse voraus. Als Sprachrohr dieses Versprechens, das den ‚Entropiediskurs‘ von Anfang an herausgefordert hat und zugleich von diesem herausgefordert wurde, kann die Newton'sche Mechanik und ihr vollkommen *zeitloses* Verständnis von Bewegung gelten. Diese Eigenschaft kann aus dem mechanischen Formelapparat selbst abgeleitet werden. So definiert Newton die Geschwindigkeit v eines Körpers als Veränderung seines Ortes mit der Zeit und die Beschleunigung a , mithin die auf den Körper wirkenden Kräfte, wiederum als Veränderung der Geschwindigkeit mit der Zeit und damit als zweite Ableitung:

$$v = \frac{ds}{dt}, \quad a = \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (3.II)$$

Die Zeit t geht in die Beschleunigungsgleichung also quadriert ein. Damit stellt sich für die Einsetzungen t (vorwärtslaufende Zeit) und $-t$ (rückwärtslaufende Zeit) notwendig dasselbe Ergebnis ein, da das Quadrat von positiven und negativen Zahlen seinerseits positiv ist. Die Mechanik ist also *zeitumkehrinvariant* und die Vorgänge, die sie beschreibt, stets *reversibel*.⁷⁸ „Man kann sagen, dass die Newtonschen Bewegungsgleichungen eine vollständig umkehrbare Welt beschreiben.“⁷⁹

Anschauungsbeispiele mechanischer Prozesse handeln klassischerweise von schwingenden Pendeln, rotierenden Planeten oder auf- und abspringenden Bällen. Im letzteren Fall gilt nach Newton folgende Umkehrrelation: „One would get the same cyclic motion [...] by throwing the ball upward at a given point in the path as by throwing it downward

⁷⁴ Schlegel ²1981, 505.

⁷⁵ Planck 1908/1933, 13 – Hervorhebung M. W.

⁷⁶ Eddington 1929, 68.

⁷⁷ Weizsäcker ²2006, 48.

⁷⁸ „Die Eigenschaft der Reversibilität [...] ist so beschaffen, daß eine [...] Umkehroperation $v \rightarrow -v$ der Geschwindigkeiten jedes Punktes des Systems einer Operation der Richtung des Zeitflusses $t \rightarrow -t$ äquivalent ist.“ (Prigogine/Stengers/Pahaut 1979/1991, 39)

⁷⁹ Coveney/Highfield 1990/1992, 62. Zur hier aufgegriffenen Formelanatomie vgl. ebd., 61f. sowie Wolkenstein 1986/1990, 13f. Zur *Zeitsymmetrie* von Newtons Bewegungsgleichungen siehe vertiefend Coveney/Highfield 1990/1992, 56-65; Weizsäcker 1985/1988, 120-122; 243 sowie Kassung 2001, 117-124.

at the same point with reversed velocity.“⁸⁰ Die thermodynamische Perspektive auf Naturvorgänge hat den hohen Idealisierungsgrad solcher Beschreibungen aufgedeckt, denn genau wie irgendwann „jede Pendelschwingung erlischt“⁸¹, bedarf es, um die *Reibungsverluste* zu erfassen, die ein Ball während seines Aufprallens auf den Boden erleidet, des Schwenkes von einer mechanischen auf eine thermodynamische Beschreibung.⁸²

Ist die Unvereinbarkeit der Zeitstrukturen bei Newton und Clausius somit unzweifelhaft, stellte sich deren Verhältnis durch eine Denkrichtung, die sich zeitlich parallel zur Entstehung der Wärmelehre entwickelt hatte, dennoch komplizierter dar. Denn Idealisierungen finden sich auch nach Newton nicht aus der Physik eskamotiert.⁸³ Der sogenannte *Atomismus* – über Jahre hinweg einer der größten Streitpunkte innerhalb der Physik⁸⁴ – ging davon aus, dass man „chemische Reaktionen, Umwandlungen und auch das Verhalten von Gasen [...] besser erklären konnte, wenn man die Existenz von Atomen voraussetzte“⁸⁵, sich mithin von der Vorstellung unteilbarer Kräfteverhältnisse verabschiedete. Die hieran anschließende *kinetische Gastheorie*, zu deren berühmtesten Vertretern James Clerk Maxwell und Ludwig Boltzmann zählten, modellierte sodann ein *ideales Gas*: Moleküle werden als ausdehnungslose Kugeln imaginiert, die reibungsfrei, da nach den Gesetzen des sogenannten *elastischen Stoßes* aufeinander sowie gegen die abgeschlossenen Wände des sie umgebenden Volumens prallen – damit jedoch, dies war das Dilemma, vollkommen der reversiblen Ordnung von Newtons Mechanik gehorchen.⁸⁶ Mit anderen Worten, würde ein sich bewegendes Teilchen rückwärts, also mit der inversen Geschwindigkeit $-v$ auf seinen Weg geschickt, fände es sich auf der exakt selben Trajektorie wieder. Der Bruch zwischen Newton und Clausius fand sich damit nicht mehr lediglich *horizontal* als Zäsur innerhalb der Physikgeschichte, sondern nunmehr *vertikal* zwischen Modell und Empirie. Die Frage lautete also: „how is it possible to obtain irreversible thermodyna-

⁸⁰ Schlegel ²1981, 509f.

⁸¹ Weizsäcker ²2006, 51.

⁸² Zum Vorkommen von *Reibung* als Bedingung für mechanische Irreversibilität siehe Sonntag/Borgnakke/Wylen ⁶2003, 224; Wolkenstein 1986/1990, 15; Peters 1970, 163.

⁸³ So bestimmt die *Zeitumkehrinvarianz* auch zentrale Theorien der modernen Physik. Etwa die Maxwell-Gleichungen (Elektromagnetismus), die Formeln der Relativitätstheorie sowie Schrödingers Wellenfunktion (Quantenmechanik) sind, wenngleich im letzteren Fall nicht mehr uneingeschränkt, der reversiblen „dynamischen Syntax verpflichtet“ (Prigogine/Stengers/Pahaut 1979/1991, 40). Innerhalb der quantenmechanischen Episteme ist es der Vorgang der Messung selbst, der einen irreversiblen Strukturverlust im physikalischen System bewirkt. Siehe hierzu auch Kapitel 4.1 der vorliegenden Arbeit.

⁸⁴ Siehe Ben-Naim 2010, 8; Coveney/Highfield 1990/1992, 139.

⁸⁵ Coveney/Highfield 1990/1992, 138.

⁸⁶ Vgl. Kassung 2001, 191f.; Prigogine/Stengers ⁶1990, 69f.; Coveney/Highfield 1990/1992, 138f.; zu den Eigenschaften des *idealen* im Unterschied zum *realen Gas* siehe Cerbe/Hoffmann ⁹1990, 57 sowie 196f.

mics from strictly reversible mechanical laws?“⁸⁷ Hierbei handelt es sich um das sogenannte *Ergodenproblem* oder *Paradoxon der Irreversibilität*.⁸⁸

Nun bestehen Gase nicht aus einem einzelnen, sondern aus einer überwältigenden Vielzahl von Teilchen, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit durch den Phasenraum bewegen,⁸⁹ miteinander kollidieren und beständig ihre Richtung ändern. Es war Boltzmann, der auf Grundlage dieser Einsicht die epochale Lösung des *Ergodenproblems* vorschlug, indem er statt mit „individuellen Trajektorien“ von vornherein mit „Populationen“ von Molekülen rechnete.⁹⁰ Über *Irreversibilität* kann demnach erst dann etwas ausgesagt werden, sobald der Blick von Einzelmolekülen auf deren Zusammenspiel gelenkt wird. Dort nämlich gilt laut Boltzmann folgende, aus der Alltagserfahrung vertraute Tendenz: „Es ist bekannt, wie schwer von einer nur einigermaßen großen Anzahl selbständiger Individuen alle dazu zu bringen sind, genau dasselbe in gleicher Weise auszuführen.“⁹¹ Das *Ergodenproblem* gründete also nicht in der Unversöhnlichkeit zweier Theorien – Mechanik versus Thermodynamik –, sondern war vielmehr eine Frage der Skalierung.

Boltzmann gelang die Versöhnung von Newton und Clausius mit folgender Formel:

$$S = k * \log P, \quad (3.III)$$

wobei es sich bei k um einen Proportionalitätsfaktor vom Wert

$$k = 1,380655 * 10^{-23} \frac{J}{K} \quad (3.IV)$$

handelt,⁹² dessen Quotient die bereits aus Formel (3.I) vertraute Relation von Wärmezufuhr und Temperatur wiedergibt. Die logarithmische Basis erfüllt die Notwendigkeit, der Größe S die mathematische Eigenschaft eines *Maßes* zu geben.⁹³ Die Größe P schließlich

⁸⁷ Brillouin ²⁰⁰⁴, 304. Alternativ ließe sich fragen: Wie lässt sich das thermodynamische Phänomen der Reibung aus Prozessen erklären, die selbst reibungsfrei sind?

⁸⁸ Siehe Kassung 2001, 8; Coveney/Highfield 1990/1992, 190.

⁸⁹ Beim Phasenraum handelt es sich um ein wichtiges mathematisches Hilfsmittel, um Trajektorien von Teilchen darzustellen. Vgl. Coveney/Highfield 1990/1992, 354.

⁹⁰ Prigogine/Stengers ¹⁹⁹⁰, 206.

⁹¹ Boltzmann 1886/1979, 36.

⁹² Erst Max Planck hat 1900 sowohl diesen Faktor bestimmt als auch Boltzmanns Kalkül in die Form (3.III) gebracht. Vgl. Flamm 2000, XXIV.

⁹³ Vgl. Weizsäcker ²⁰⁰⁶, 56. Zu den praktischen Vorzügen des logarithmischen Maßstabes zählt zudem, dass sich im Gegensatz zur Erfassung über die bloße Zahl P die Gesamt-Entropie zweier unabhängiger Systeme durch einfache Addition der beiden Teil-Entropien $\log P$ berechnen lässt. Vgl. Kittel/Krömer ²⁰⁰¹, 63.

definierte Boltzmann als „Permutabilität“⁹⁴ sowie als „Anzahl der möglichen Komplexionen“⁹⁵; weitere Begriffe sind „thermodynamische Wahrscheinlichkeit“ oder auch „Spielraum“⁹⁶. Die gängige Definition ist jedoch: *Anzahl der möglichen Mikrozustände, durch die ein Makrozustand realisiert werden kann*. Hierbei handelt es sich exakt um jenes Zusammendenken von ‚Population‘ und ‚Individuum‘, das Boltzmanns Ansatz ausmacht. Unter den ‚makroskopischen‘ sind demnach jene Größen eines Systems zu verstehen, welche *direkt* gemessen werden können wie Druck, Teilchenzahl, Volumen und Temperatur. Den ‚Mikrozuständen‘ eines Systems entspricht dagegen jeweils ein Punkt im Phasenraum; wollte man auf dieser Ebene ein System vollständig beschreiben, müssten also Ort und Geschwindigkeit *jedes einzelnen Teilchens* bekannt sein, was praktisch nicht realisierbar ist.⁹⁷ Nur unter dieser Bedingung gilt Boltzmanns Kalkül: Teilchen*zahlen* sind makroskopisch erschließbar; einzelne Teilchen zu sehen, geschweige denn zu unterscheiden, wird als unmöglich vorausgesetzt. Die Entropie lässt sich nun berechnen, indem durch Kombinatorik ermittelt wird, wie viele Permutationen zwischen den Teilchen möglich sind, um ein und denselben Makrozustand, mithin dieselbe ‚Verteilung‘ zu realisieren.

Ein stark idealisiertes Beispiel soll diesen Zugang veranschaulichen.⁹⁸ Die folgenden zwei Abbildungen zeigen jeweils ein Gasgemisch, das aus 12 Molekülen besteht. Für die Entropieberechnung gilt es zunächst, sich das Volumen aus Zellen, sogenannten *Volumenelementen* aufgebaut vorzustellen⁹⁹; in diesem Fall findet es sich in zwei gleich große Bereiche aufgeteilt:

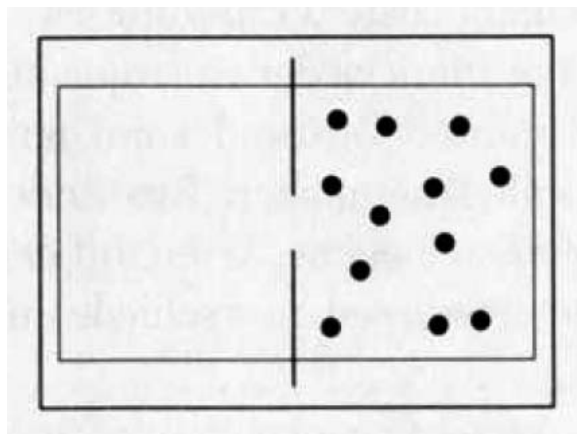


Abb. 1: Gasmodell mit minimaler Entropie

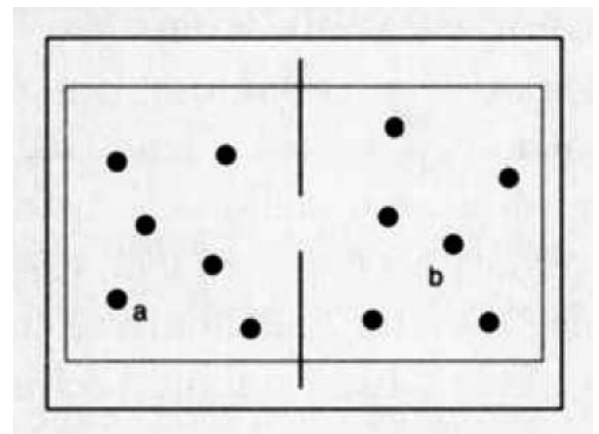


Abb. 2: Gasmodell mit maximaler Entropie

⁹⁴ Boltzmann 1877/1909, 170.

⁹⁵ Ebd., 169.

⁹⁶ Kassung 2001, 206, Anm. 247.

⁹⁷ Vgl. Weizsäcker ²2006, 53-55.

⁹⁸ Das hier gegebene Beispiel ist angelehnt an Boltzmann 1877/1909, 218f.

⁹⁹ Vgl. Boltzmann 1896, 40.

Dadurch fällt die Permutabilität P zusammen mit jenem ‚Spielraum‘, den die 12 Moleküle haben, um sich auf die beiden Partialvolumina zu verteilen. Für *Abb. 1* gilt also:

$$P = \frac{12!}{12! \cdot 0!} = 1 \quad (3.V)$$

Dies entspricht einem minimalen ‚Spielraum‘, da die Verteilung lediglich durch *eine* Komplexion realisiert werden kann, also folgender Entropie:

$$S = k \cdot \log 1 = 0 \quad (3.VI)$$

Das konträre Ergebnis hingegen stellt sich ein, applizieren wir das Rechenverfahren auf *Abb. 2*. So könnte es sich etwa bei Molekül *a* genauso gut um Molekül *b* handeln usw., ohne dass dies etwas an der Verteilung ändern würde. Rechnerisch ergeben sich

$$P = \frac{12!}{6! \cdot 6!} = 924 \quad (3.VII)$$

sowie die Entropie

$$S = k \cdot \log 924 \approx 9,428 \frac{J}{K} \quad (3.VIII)$$

Werden die Teilchen nun „keineswegs in Ruhe, sondern in der lebhaftesten Bewegung“¹⁰⁰ und die beiden Volumina nicht als zwei separate Gefäße, sondern als dasselbe System zu zwei verschiedenen Zeitpunkten mit einer durchlässigen Öffnung in der Mitte begriffen, so lässt sich der *Zweite Hauptsatz* mit Boltzmann aus dem Molekülverhalten heraus ableiten:

Der Anfangszustand wird in den meisten Fällen ein sehr unwahrscheinlicher sein, *von ihm wird das System immer wahrscheinlicheren Zuständen zueilen, bis es endlich den wahrscheinlichsten, d. h. den des Wärmegleichgewichtes erreicht hat*. Wenden wir dies auf den zweiten Hauptsatz an, so können wir diejenige Größe, welche man gewöhnlich als die Entropie zu bezeichnen pflegt, mit der Wahrscheinlichkeit des betreffenden Zustandes identifizieren.¹⁰¹

Gewendet auf das oben genannte Beispiel muss es sich also bei *Abb. 1* um den Anfangszustand und bei *Abb. 2* um den Endzustand der Bewegung handeln, da bei 12 Molekülen keine Verteilung unwahrscheinlicher sein kann als jene, die durch nur eine Anordnung zu realisieren wäre, und keine Anordnung wahrscheinlicher als eine solche, die durch 924 Permutationen hervorgebracht werden kann.¹⁰² Der *Zweite Hauptsatz* lässt sich damit wie

¹⁰⁰ Boltzmann 1872/1909, 324.

¹⁰¹ Boltzmann 1877/1909, 165 – Hervorhebung M. W.

¹⁰² Entsprechend taufte Josiah Willard Gibbs diesen Ansatz ‚statistische Mechanik‘. Siehe Broda 1979, 5.

folgt umformulieren: In einem abgeschlossenen,¹⁰³ also sich selbst überlassenen physikalischen System strebt die ‚Durchmischtheit‘ der Teilchen einem Maximum zu und bleibt nach Eintreten dieses Maximums konstant, was Boltzmann den Zustand der größtmöglichen ‚Unordnung‘ nannte.¹⁰⁴ Diese Definition soll im Folgenden die *statistische* Lesart des Entropiegesetzes heißen.

Diese Umdeutung jedoch ist folgenreich. Boltzmanns Rückgriff auf Vokabeln wie ‚zueilen‘ und ‚endlich‘ indiziert zwar deutlich, dass auch sein Ansatz dem Naturgeschehen selbst und nicht erst seiner philosophischen Interpretation eine *immanente Teleologie* unterstellt. Allein, die Bindung an den Parameter ‚Zeit‘ erscheint nun um einiges poröser als noch bei Clausius. Daher seien im Folgenden drei Merkmale der Boltzmann'schen Methodik benannt, die für deren prinzipielle *Offenheit* gegenüber einer bestimmten Zeitrichtung eintreten können und die auch zahlreiche Nachfolgetheorien bestimmen werden: Erstens, *die nunmehr bloß statistische Natur des Entropiegesetzes*; zweitens, *die prinzipielle Beobachterabhängigkeit irreversibler Prozesse*; drittens, *die formale Indifferenz der Boltzmann-Formel gegenüber dem Parameter ‚Zeit‘*.¹⁰⁵

¹⁰³ Ein *abgeschlossenes* oder *isoliertes* System erlaubt weder Energie- noch Materieaustausch; ein *geschlossenes* System kann mit der Umwelt Energie austauschen; ein *offenes* System schließlich erlaubt Zu- und Abfließen von Materie *und* Energie (siehe Coveney/Highfield 1995/1997, 196). Dazu, inwieweit der *Zweite Hauptsatz* für die Beschreibung *offener* Systeme zu modifizieren ist, siehe das folgende Kapitel über Schrödinger. Über die Problematik der Trennung zwischen ‚Materie‘ und ‚Energie‘ und das plausible Begriffspaar ‚Stoff/Energie‘ siehe Kapitel 4, Anm. 159 der vorliegenden Arbeit.

¹⁰⁴ „Unsere Theorie erfordert [...] nichts, als dass jedesmal, wo Körper in Wechselwirkung treten, der Anfangszustand des von ihnen gebildeten Systemes ein durch besonders hervorragende Eigenschaften ausgezeichneter (*geordneter*, unwahrscheinlicher) sei, welche verhältnismässig nur sehr wenigen Zuständen desselben mechanischen Systemes unter den in Frage stehenden äusseren mechanischen Bedingungen zukommen. Hierdurch erklärt es sich, dass dieses System mit der Zeit Zustände annimmt, denen diese Eigenschaft nicht mehr zukommt, und welche man *ungeordnete* nennt. Da weitaus die meisten Zustände des Systemes *ungeordnete* sind, so nennt man die letzteren auch die wahrscheinlichen Zustände.“ (Boltzmann 1898, 252 – Hervorhebung M. W.) Die Identifizierung von ‚hoher Entropie‘ mit ‚Unordnung‘ ist nicht unumstritten (siehe etwa Coveney/Highfield 1990/1992, 204), scheint aber brauchbar, wenn man sie ausschließlich auf *molekulare Freiheitsgrade* bezieht und nicht den Fehler macht, sie mit makroskopischer *Gestaltenarmut* gleichzusetzen (zur Gestaltentwicklung als ihrerseits entropieerhöhendem Vorgang siehe Weizsäcker 1985/1988, 174-189). Generell scheinen sämtliche alltagssprachlichen Alternativen für Boltzmanns „Permutabilität“ solche Einschränkungen zu erfordern, was wesentlich in den dispersen Ökonomien von mikroskopischer und makroskopischer Ebene gründet. So bedeutet der von Boltzmann ebenfalls verwendete Begriff der „Gleichförmigkeit“ makroskopisch zwar eine einheitliche *Temperatur*, mikroskopisch jedoch das Vorkommen sämtlicher, also verschiedenster Partikel*geschwindigkeiten*. Da nun auch ein hypothetisches Volumen, in dem sämtliche Teilchen *dieselbe* Geschwindigkeit aufwiesen, eine einheitliche Temperatur hätte, muss Folgendes gelten: Von thermischer ‚Ordnung‘ kann nur gesprochen werden, wenn ein *Gefälle*, also ein *Ungleichgewicht* zwischen *mindestens zwei* Volumenabschnitten besteht, vgl. obenstehende *Abb. 1*. Boltzmann selbst hat erwogen, dass seine Theorie nicht nur für Gase, sondern auch für andere Materialitäten gilt (vgl. Boltzmann 1877/1909, 223). Im ‚Entropiediskurs‘ wurde dieses Versprechen verschiedentlich eingelöst. So bedeutet ‚Ordnung‘ als ‚Ungleichgewicht‘ etwa für die Biologie das Konzentrationsgefälle innerhalb einer Nervenzelle; mit Wiener kann auch ein Radio, das sich auf einen bestimmten Sender einschwingt, anstatt alle Frequenzen durchzulassen, als ‚fernab vom Gleichgewicht‘ bezeichnet werden, welches dort mit weißem Rauschen zusammenfiele. Siehe hierzu im Folgenden die Kapitel 3.2 und 4.2.

¹⁰⁵ Das erste Merkmal wird insbesondere bei Shannon virulent werden; das zweite Merkmal durchdringt etwa

Erstens: Der Begriff der Wahrscheinlichkeit kann in seiner epistemologischen Brisanz nicht zu hoch veranschlagt werden. Wenn dem Entropiesatz lediglich ein *statistisches* Wissen zugrunde liegt, dann können auf seiner Grundlage auch keine absoluten Aussagen über die Zukunft beliebiger Naturprozesse gemacht werden. Erneut Boltzmann:

Ein *Beweis*, daß nach Verlauf einer gewissen Zeit t_1 die Mischung [...] *mit absoluter Notwendigkeit* eine gleichförmige sein müsse, wie immer die Zustandsverteilung zu Anfang der Zeit gewesen sein mag, kann *nicht* geliefert werden. Dies lehrt schon die Wahrscheinlichkeitsrechnung selbst; denn jede noch so ungleichförmige Zustandsverteilung ist, *wenn auch im höchsten Grade unwahrscheinlich, doch nicht absolut unmöglich*. Ja es ist klar, daß jede einzelne gleichförmige Zustandsverteilung, welche bei einem bestimmten Anfangszustand nach Verlauf einer bestimmten Zeit entsteht, gerade so unwahrscheinlich ist wie eine einzelne noch so ungleichförmige Zustandsverteilung, gerade so wie im Lottospiel jede einzelne Quinterne ebenso unwahrscheinlich ist wie die Quinterne 1, 2, 3, 4, 5. Nur daher, *daß es viel mehr gleichförmige als ungleichförmige Zustandsverteilungen gibt*, stammt die größere Wahrscheinlichkeit, daß die Zustandsverteilung mit der Zeit gleichförmig wird.¹⁰⁶

Demnach ist etwa ein Zuckerwürfel, der sich nach seiner Diffusion in einer Kaffeetasse wieder in seinen ursprünglichen Aggregatzustand zurückbildet, gemäß der *statistischen Mechanik* zwar denkbar unwahrscheinlich, aber keineswegs unmöglich.¹⁰⁷ Dass sämtliche Ansätze, die der vorliegende Text in das begriffliche Register ‚Leben‘ einordnen wird – *Biophysik/Nichtgleichgewichtsthermodynamik* sowie *Kybernetik* –, sich an der Suche nach und Erklärung von *unwahrscheinlichen* Naturzuständen abarbeiten, baut wesentlich auf dieser Einschränkung auf.

Zweitens: Wenn *Irreversibilität* erst mit Blick auf ‚Populationen‘ von Molekülen, die selbst ununterscheidbar sind, in Anschlag kommt, kann das Zeitbewusstsein des Menschen als Effekt der Grobkörnigkeit von dessen Wahrnehmung ausgewiesen werden, denn die Trajektorie eines Einzelmoleküls verhält sich *symmetrisch* gegenüber einer hypothetischen Zeitumkehr. Demnach hätte ein idealisierter, maximal analytischer Beobach-

die quantenmechanische Messtheorie Wieners; und das dritte Merkmal ist entscheidend für sämtliche Anschläge an Boltzmanns Entropiebegriff, die in den Folgekapiteln behandelt werden.

¹⁰⁶ Boltzmann 1877/1909, 120 – Hervorhebung M. W.

¹⁰⁷ Erhellend ist in diesem Kontext Boltzmanns Entgegnung auf den sogenannten *Wiederkehrinwand*, den der Physiker Ernst Zermelo 1896 gegen ihn vorbrachte. Zermelo griff dabei auf einen Satz von Henri Poincaré zurück, wonach „ein aus endlich vielen Massenpunkten bestehendes mechanisches System, das in ein endliches Volumen eingeschlossen ist, quasiperiodisch ist und nach endlicher Zeit seinem Anfangszustand wieder beliebig nahe kommt“ (Flamm 2000, XXIX). Demnach müsste auch ein *ideales Gas* diese Eigenschaft erfüllen, also nach unbestimmter Zeit wieder zu seinem unwahrscheinlichen Anfangszustand zurückkehren, womit der *Zweite Hauptsatz* widerlegt wäre. Boltzmann betonte daraufhin, dass sein Theorem zwar ein „bloßer Wahrscheinlichkeitssatz“ (Boltzmann 1896/2000, 231) sei, errechnete jedoch, dass sich bereits in einem Luftgefäß von 1 cm³ rund 10¹⁸ Moleküle befinden und die Wiederkehr dort selbst nach einer Trillion Jahren noch lange nicht eingetreten wäre (vgl. ebd., 240-242). Daher schloss Boltzmann mit der Diagnose, dass „solche Sätze, welche theoretisch nur den Charakter von Wahrscheinlichkeitssätzen haben, praktisch mit Naturgesetzen gleichbedeutend sind“ (ebd., 242). Zur zwar nicht praktischen, wohl aber epistemologischen Wichtigkeit des Unterschiedes von Unmöglichkeit und Unwahrscheinlichkeit siehe auch Kassung 2001, 207, Anm. 249.

ter, der den Ort und die Geschwindigkeit jedes einzelnen Teilchens bestimmen und gleichzeitig nicht von der mikro- in die makroskopische Perspektive umschalten kann,¹⁰⁸ kein Empfinden für Zeit – zumindest nicht für ‚Zeit‘ nach der thermodynamisch informierten Definition, die einen erkennbaren „Unterschied von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft“¹⁰⁹ voraussetzt. Hieran lässt sich eine *dritte* Lesart von Entropie anschließen, welche die *epistemische* genannt werden kann. Demnach ist „die Entropie nichts weiter [...] als ein Maß für unsere eigene Unkenntnis der Details [eines Vorgangs].“¹¹⁰ Auch diese Lesart ist plausibel, da ein makroskopischer Beobachter, je höher die Entropie eines Systems ist, umso mehr Informationen über die konkreten Teilchen haben müsste, um besagtes System vollständig zu beschreiben.

Drittens: „The science of thermodynamics give us an elemental insight into the nature of time, although its equations contain to reference to the time variable.“¹¹¹ Mit Blick auf die energetische Formel (3.I), das Entropiedifferential, gilt diese Aussage nur bedingt, da jede Wärmezufuhr oder -abfuhr ΔQ nur über ein bestimmtes Zeitintervall erfolgen kann. Auf die Boltzmann-Formel (3.III) trifft diese Aussage hingegen uneingeschränkt zu, da die Komplexionszahl P sich immer nur auf den singulären Zustand eines thermodynamischen Systems zu *einem* Zeitpunkt bezieht.¹¹² Entropie ist keine Prozess-, sondern eine Zustandsgröße.¹¹³ Zwischen der verschärften Formulierung des Entropiegesetzes, „[e]s [gebe] kein Zurück in der Thermodynamik, sondern nur eine ununterbrochene und irre-

¹⁰⁸ Dies ist die exakte Definition des berühmten *Maxwell'schen Dämons*, der in Kapitel 4.1 der vorliegenden Arbeit im Zusammenhang mit Wiener noch ausführlicher diskutiert wird. Ein ähnliches Gedankenexperiment hat Willard Josiah Gibbs innerhalb seines kaum weniger populären *Tintengleichnisses* angestellt. Gibbs' Szenario, 1902 in dessen *Elementary Principles in Statistical Mechanics* entworfen, imaginiert einen Tropfen Tinte, der in einen Wasserbehälter gegeben wird. Für einen menschlichen Beobachter wird sich nach einiger Zeit die Farbe der Tinte gleichmäßig mit dem Wasser vermischt haben, sodass eine homogene, in diesem Falle hellblaue Färbung der Flüssigkeit eingetreten ist (= *Entropieanstieg*). Auf molekularer Ebene jedoch sei in Wahrheit „gar keine Homogenisierung eingetreten“, stattdessen habe „sich die Tinte nur auf sehr viele Filamente oder dünne Fäden verteilt“. (Carrier 2009, 89) Der irreversible Strukturverlust ist demnach ein bloßes Phantasma, das auf die fiktive, auch für Boltzmanns Komplexionszahl P vorausgesetzte Einteilung des Volumens in Zellen endlicher Größe zurückgeht. In Gibbs' Worten: „[...] if we should take for our elements of volume, after any amount of stirring, the spaces occupied by the same portions of the liquid which originally occupied any given system of elements of volume, the densities of the coloring matter, thus estimated, would be identical with the original densities as determined by the given system of elements of volume.“ (Gibbs 1902/1960, 145; für das vollständige Argument siehe ebd., 144-151.)

¹⁰⁹ Weizsäcker ²2006, 10.

¹¹⁰ Coveney/Highfield 1990/1992, 229.

¹¹¹ Schlegel ²1981, 500.

¹¹² Boltzmann hat in der Herleitung seines Entropiekalküls zwar Zwischenschritte eingebaut, die den Parameter t einschließen (siehe Boltzmann 1872/1909, 387-389); entscheidend ist jedoch, dass seine finale Formel gänzlich ohne die zeitliche ‚Dimension‘ auskommt.

¹¹³ Vgl. Herwig/Moschallski ²2009, 4.

versible Diffusion und Entwertung aller Ordnungen“¹¹⁴, und ihrem mathematischem Formalismus besteht somit eine irreduzible Spannung.

Es ist insbesondere diese formale Indifferenz der Boltzmann-Formel gegenüber dem Parameter Zeit, die erschließbar macht, warum andere Autoren auf Basis derselben Mathematik (wie sich zeigen wird: scheinbare oder tatsächliche) Gegenentwürfe zum *Zweiten Hauptsatz* in Anschlag gebracht haben. Erwin Schrödinger und Norbert Wiener rekurrieren auf Boltzmanns Formel, um Prinzipien zu beschreiben, die vordergründig *gegen* das Entropiegesetz gerichtet sind. Bei Schrödinger wird diese Gegenbewegung *freie Energie* und bei Wiener *Information* heißen. Claude Shannon schließlich wird unter Adaption von Boltzmanns Formel die Größe Entropie von jeder Physikalität und damit auch zeitlichen Abhängigkeit lösen. Darum, diese Adaptionen als physikalische und mathematische Entsprechungen den Registern ‚Leben‘ und ‚Tod‘ zuzuordnen und in einem zweiten Schritt auf die (Un-)Zeitlichkeit von Medien abzubilden, wird es in den folgenden Kapiteln gehen.

¹¹⁴ Pias 2003, § 66.

3.2. *Negative Entropie und Leben bei Schrödinger*

*You cannot kill /
what doesn't die.*¹¹⁵

ANTHRAX

Boltzmanns Wahrscheinlichkeitssatz, wonach alle physikalischen Prozesse auf einen Zustand maximaler Unordnung zueilen, hat Mitte des 20. Jahrhunderts zu einer entscheidenden Relektüre des *Zweiten Hauptsatzes* geführt – die inzwischen als die dominante Perspektive innerhalb der Physik bezeichnet werden kann –, als es um dessen vermeintliche Unvereinbarkeit mit Prozessen ging, die scheinbar dem Postulat allgegenwärtiger Energiediffusion zuwiderlaufen. Das maßgebliche Problem lautete: „Das Wachstum eines Kindes und die vorangegangene Embryonalentwicklung seines Organismus bedeuten [...] ein Anwachsen des Ordnungsgrades“¹¹⁶ und keine Degradation, wie sie nach Boltzmann nahe liegen würde. Die Frage war also: „Welche Bedeutung kann die Entwicklung von Lebewesen, die Entwicklung ihrer Gesellschaften und ihrer Arten in der von der Thermodynamik beschriebenen Welt wachsender Unordnung haben?“¹¹⁷ Die Antwort, die sich auch mathematisch als plausibel erwies, sollte schließlich lauten, dass das Entropiegesetz *keinen* Widerspruch zum Phänomen ‚Leben‘ darstellt; der *Zweite Hauptsatz* vielmehr die Bedingung dafür ist, dass es überhaupt Entwicklung geben kann; es sich beim Zeitpfeil also in Wahrheit um den „Pfeil des Lebens“¹¹⁸ selber handelt. Diese Umdeutung mag nicht nur als physikalische Fundierung etwa der Seinsphilosophie Heideggers gelesen werden, sondern sollte auch Norbert Wieners Kybernetik durchdringen. Deshalb sei dieses Kapitel den Überlegungen jenes Physikers gewidmet, dessen Lebensdefinition sich selbst mathematisch mit dem Informationsbegriff Wieners deckt.

Als Erwin Schrödinger in seinem Buch *Was ist Leben?* das Rätsel berührte, warum nach der Geburt eines Menschen nicht unverzüglich dessen körperlicher Zerfall einsetzt, lautete seine grundlegende Antwort, dass es sich bei Lebewesen nicht um *geschlossene* – bei Boltzmann der exklusive Anwendungsfall seines Entropiekalküls –, sondern um *offene* Systeme handelt. Demnach sei es die ausgezeichnete Eigenschaft von Organismen, ihren Entropiewert durch „Essen, Trinken, Atmen und (im Falle der Pflanzen) durch Assimila-

¹¹⁵ Bush/Caggiano/Ian/Bello/Benante 2003, 0'44-0'49.

¹¹⁶ Wolkenstein 1986/1990, 147.

¹¹⁷ Prigogine/Stengers 1990, 138.

¹¹⁸ Coveney/Highfield 1990/1994, 236.

tion¹¹⁹ niedrig zu halten respektive ihre eigene Verfallstendenz immerhin lokal auszuhebeln – nach Schrödingers eingängiger Formel: „Ordnung aus Unordnung“ zu erzeugen.¹²⁰ Seine titelgebende Frage *Was ist Leben?* formulierte Schrödinger in diesem Zuge um und lieferte eine Antwort, die sich, zumindest strukturell, wesentlich mit der platonischen deckt:

Wann sagt man von einem Stück Materie, es lebe? Wenn es fortwährend „etwas tut“, sich bewegt, mit der Umwelt Stoffliches austauscht usw., und zwar während einer viel längeren Zeit, als wir [...] von einem unbelebten Stück Materie erwarten, dass es „in Bewegung bleibt“.¹²¹

Was in der schrifttheoretischen Bestimmung ‚lebendiger‘ Dialogik noch analytisch voneinander getrennt war – leibliche Anwesenheit und durchgängige Bewegtheit – zieht sich im biophysikalischen Lebensbegriff mithin zu einem *Nicht-Stillstehen* von Materie selbst zusammen. Denn, so Schrödingers thermodynamisch informierte Erklärung, „[w]enn ein unbelebter Körper isoliert oder in eine gleichförmige Umwelt gestellt wird, kommt jede Bewegung gewöhnlich sehr bald, als Folge verschiedener Arten von Reibung, zum Stillstand.“¹²² Damit ist gesagt: Ein isolierter Körper ist nur solange ‚in Bewegung‘, wie er *noch nicht* den Status maximaler Entropie und damit das thermodynamische Gleichgewicht erreicht hat. Auf die Frage, warum das Gleichgewicht für Lebewesen den Tod bedeutet, lautet die biologisch informierte Antwort, dass eine Nervenzelle nur dann Signale weiterleiten kann, wenn zwischen den zwei Seiten einer Zellmembran und damit den Ionen ein Konzentrationsgefälle besteht.¹²³ Strukturanalog dazu hatte bereits Boltzmann die Bedingung allen irdischen Lebens in der „kolossale[n] Temperaturdifferenz“ ausgemacht, die zwischen Sonne und Erde herrscht.¹²⁴ ‚Bewegung‘ und damit ‚Leben‘ sind so

¹¹⁹ Schrödinger 1993, 124.

¹²⁰ Ebd., 141. Hiermit unterscheiden sich Organismen von anderen offenen Systemen, etwa von einer brennenden Kerze: Zwar erhalten sich beide durch Zuflüsse von Materie respektive Energie (bei der Kerzenflamme von Wachs und Sauerstoff, bei Organismen insbesondere von Nahrung). Während die Energie im Falle der Kerze jedoch vollständig als Hitze und Licht abgegeben wird, wird sie im Falle des Stoffwechsels „in verwendbarer Form erhalten, als Energiewährungsmolekül. Diese Währung kann dann dazu verwendet werden, die komplexen Biomoleküle zu bauen, aus denen Leben besteht.“ (Hendrickson 2008, 96)

¹²¹ Schrödinger 1993, 123.

¹²² Ebd.

¹²³ Vgl. Coveney/Highfield 1990/1992, 297.

¹²⁴ Boltzmann 1886/1979, 40. In diesem Kontext fällt bei Boltzmann eine Formulierung, die durchaus als Vorgriff auf Schrödingers Betrachtung gelesen werden kann: „Der allgemeine Daseinskampf der Lebewesen [...] ist [...] nicht ein Kampf um die Grundstoffe – die Grundstoffe aller Organismen sind in Luft, Wasser und Erdboden im Überflusse vorhanden – auch nicht um Energie, welche in Form von Wärme leider unverwandelbar in jedem Körper reichlich enthalten ist, sondern *ein Kampf um die Entropie*, welche durch den Übergang von der heißen Sonne zur kalten Erde disponibel wird. Diesen Übergang möglichst auszunutzen, breiten die Pflanzen die unermessliche Fläche ihrer Blätter aus und zwingen die Sonnenenergie in noch unerforschter Weise, *ehe sie auf das Temperaturniveau der Erdoberfläche herabsinkt*, chemische Synthesen auszuführen, von denen man in unseren Laboratorien noch keine Ahnung hat.“ (Ebd., 41 – Her-

als *Entropievariation* definiert und können sich nur innerhalb der Zeitspanne *vor* Eintritt eines Systems in jenen Zustand bei jeglicher Entropieänderung entfalten, wie er in *Abb. 2* dieser Arbeit dargestellt war, und Prozesse wie Nahrungsaufnahme oder Atmung dienen der *Vermeidung* besagten Eintritts. Was bei Schrödinger anhebt, ist mithin die Perspektive der *Nichtgleichgewichtsthermodynamik*.¹²⁵

Dieses Phänomen der organischen Ordnungserhaltung suchte Schrödinger sodann zu formalisieren. ‚Das Leben zählt nicht‘, Bernhard Siegerts Paraphrase von Diltheys geisteswissenschaftlichem Programm,¹²⁶ fand sich damit widerrufen – und rekrutiert wurde die Mathematik hierfür aus Boltzmanns *statistischer Mechanik*. Dass Claude Shannon noch im selben Jahrzehnt eine weitere Adaption dieser Mathematik in den Diskurs einführte, die genau jenen Kriterien entsprechen sollte, welche in Schrifttheorie und Hermeneutik als jene des medialen ‚Todes‘ vorformuliert wurden, ist die Wendung, auf die alle Folgeausführungen hinsteuern werden. Schrödingers grundlegende Überlegung war: „Wenn D [i. e. Boltzmanns $P - M$. W.] ein Maß der Unordnung ist, so kann der reziproke Wert [...] als direktes Maß der Ordnung betrachtet werden.“¹²⁷ Schrödingers Ordnungsmaß lautet also

$$\frac{1}{D} \quad (3.IX)$$

Dieser Kehrwert ist sinnvoll, da sein Betrag umso größer wird, je kleiner die Komplexionszahl D und damit der molekulare ‚Spielraum‘ eines Systems ist. Als nächsten Schritt bildete Schrödinger nun, analog zu Boltzmanns Formel, den *Logarithmus* besagten Kehrwerts. Da für diesen jedoch gilt, dass er entweder kleiner oder allenfalls gleich 1 sein muss – denn einen Wert $D < 1$ gibt es nicht – und der Logarithmus eines Wertes kleiner 1 immer negativ wird, ergibt sich daraus der *Negativwert* der Entropie, in Schrödingers Schreibweise¹²⁸:

$$-(Entropie) = k * \log\left(\frac{1}{D}\right) \quad (3.X)$$

Dieser Schritt stieß in der physikalischen Rezeption rasch auf Kritik, was Schrödinger zu der Rechtfertigung veranlasste, mit ‚negativer Entropie‘ meine er in Wirklichkeit ‚freie

vorhebung M. W.)

¹²⁵ Vgl. Schneider/Kay 1995/1997, 184. Für eine Gegenüberstellung der Ansätze von *Gleichgewichts-* und *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* siehe vertiefend Wehrt 1974, 144f.

¹²⁶ Siehe Siegert 1999.

¹²⁷ Schrödinger 1993, 129.

¹²⁸ Ebd.

Energie‘.¹²⁹ Damit erscheint die Formel (3.X) als nicht viel mehr als ein aussagenlogischer Kunstgriff, ganz wie „man die Masse m eines Gegenstandes dadurch beschreiben [kann], dass man sagt, die Umgebung habe die ‚Negmasse‘ $n = -m$ “¹³⁰. Wenn demnach *Entropie* ein Maß für die *nicht mehr brauchbare* Energie eines Systems ist, dann kann seine Negation die ‚freie‘ oder ‚nutzbare‘ Energie bezeichnen, die einem System zur Verfügung steht.¹³¹ Allein, dass dieser Gedanke über einen bloßen Formalismus hinausgeht und vielmehr eine für den ‚Entropiediskurs‘ nach Boltzmann symptomatische Stellung einnimmt, macht eine Passage in Schrödingers Text deutlich, die darum an dieser Stelle ausführlich zitiert werden soll:

Was ist [...] dieses kostbare Etwas in unserer Nahrung, das uns vor dem Tode bewahrt? Das ist leicht zu beantworten. Jeder Vorgang, jedes Ereignis, jedes Geschehen [...], kurz alles, was in der Natur vor sich geht, bedeutet eine Vergrößerung der Entropie jenes Teiles der Welt, in welchem es vor sich geht. Damit erhöht ein lebender Organismus ununterbrochen seine Entropie – oder, wie man auch sagen könnte, er produziert eine positive Entropie – und strebt damit auf den gefährlichen Zustand maximaler Entropie zu, der den Tod bedeutet. Er kann sich ihm nur fernhalten, d. h. leben, indem er seiner Umwelt fortwährend negative Entropie entzieht – welche etwas sehr Positives ist [...]. Das wovon ein Organismus sich ernährt, ist negative Entropie.¹³²

Brisant für die hier aufzufächernden Epistemologien und Formalismen hinter den physikalischen Definitionen von ‚Leben‘ und ‚Tod‘ ist an dieser Passage dreierlei: *erstens* die offenkundige, von Schrödinger selbst angedeutete Paradoxie, einen *negativen* mathematischen Ausdruck für etwas vorzuschlagen, das eigentlich ‚etwas sehr Positives‘ ist. Dieses Paradox gründet auf einer Spannung zwischen Logik und Semantik: Etwas semantisch Negatives – nämlich Entropie als die *unbrauchbar* gewordene Energie – wird durch eine positive und etwas semantisch Positives – die *freie* oder *nutzbare* Energie – wird mit einer negativen Größe angeschrieben. Dies hat für Schrödingers Theorie einen durchaus programmatischen Wert, denn gemäß der Aussagenlogik affirmiert jede Negation zuallererst die Existenz der dazugehörigen Konjunktion.¹³³ Schrödinger wählt also

¹²⁹ Schrödingers ebendort geäußerte Verteidigung, die ‚negative Entropie‘ sei „gar nicht [s]eine Erfindung“, sondern „der Begriff, um den sich Boltzmanns unabhängige Erörterung drehte“ (ebd., 130), führt jedoch in die Irre. Schrödinger bezieht sich offensichtlich auf das berühmte *H*-Theorem, wo Boltzmann eine Größe – besagtes *H* – definierte, die innerhalb molekularer Bewegungen *nur abnehmen oder konstant bleiben* kann und damit dem Negativwert der Entropie entspricht (vgl. Boltzmann 1877/1909, 402). Dabei war besagtes *H* für Boltzmann lediglich ein mathematischer Hilfsausdruck zur Lösung des *Ergodenproblems* respektive zur statistischen Herleitung des *Zweiten Hauptsatzes*; eine Identifikation mit *freier Energie* lässt sich aus dieser Betrachtung daher *nicht* ableiten.

¹³⁰ Herrmann 2004, 47.

¹³¹ So lauten die inzwischen gebräuchlichen Bezeichnungen für Schrödingers ‚negative Entropie‘. Siehe Hendrickson 2008, 148, Anm. 14.

¹³² Schrödinger 1993, 125f.

¹³³ Vgl. Günther 1964, 9.

nicht Ordnung, um daraus die Möglichkeit von Unordnung zu erklären, sondern er setzt umgekehrt die drohende Unordnung voraus, die mathematisch mit dem *positiven* Entropiedifferential zusammenfällt, um hieraus die Möglichkeit von Ordnung abzuleiten.

Der philosophische Subtext dieser Denkstruktur erschließt sich *zweitens* durch Schrödingers Wendung, Leben bedeute, sich dem drohenden Tod ‚fernzuhalten‘. Damit stellt sich die Rede von *negativer Entropie* als Aufschubtheorie dar,¹³⁴ die als physikalische Fundierung von Heideggers *Sein zum Tode* gelesen werden könnte: „Zum Dasein gehört“, so Heidegger, „solange es ist, ein Noch-nicht, das es sein wird – der ständige Ausstand.“¹³⁵ Der letale Endpunkt dieses Daseins, wo „an ihm schlechthin nichts mehr aussteht“¹³⁶, wäre in dieser Lesart das thermodynamische Gleichgewicht und der ‚Seinsausstand‘ entspräche just jener Zeitspanne, in denen es noch Entropiefluktuationen gibt. Leben als ein biologisches *Sein*, das sich in der *Zeit* entfaltet, hängt genau darum am Entropiegesetz, da es sich hierdurch in eine erstens materielle und zweitens zeitlich strukturierte Welt *geworfen* findet – dies ließe sich als physikalische Wendung von Heideggers Seinsphilosophie formulieren. Letztere soll hiermit nicht als Vorläuferin der Biophysik exponiert werden, wohl aber teilt Schrödinger mit ihr die Bestimmung von Leben als einem *Noch-nicht-tot-sein*. Hier wie dort ist ‚Tod‘ also nur über einen Ausschluss, als ein Grenzwert greifbar – und all das, was ihm vorausgeht, heißt Dasein oder eben Leben. Die epistemische Wende hinter dieser Einsicht hat Friedrich Engels für die Naturwissenschaften sehr pointiert zur Sprache gebracht:

Schon jetzt gilt keine Physiologie für wissenschaftlich, die nicht den Tod als wesentliches Moment des Lebens auffaßt, die Negation des Lebens als wesentlich im Leben selbst enthalten, so daß Leben stets gedacht wird mit Beziehung auf sein notwendiges Resultat, das stets im Keim in ihm liegt, den Tod. [...] Leben heißt Sterben.¹³⁷

Drittens schließlich verdient Schrödingers Formulierung, ‚jedes Geschehen bedeute[] eine Vergrößerung der Entropie jenes Teiles der Welt, in welchem es vor sich geht‘, eine Kommentierung. Wenn nämlich *jeder* Vorgang in der Welt mit einem Entropieanstieg verbunden ist, dann muss dies notwendigerweise auch für sämtliche entropie*senkenden* Handlungen gelten, wie Lebewesen sie tätigen. Im Falle der Nahrungsaufnahme folgt die

¹³⁴ „*Leben* [nach Schrödinger] *ist langsame Verbrennung*“ (Hendrickson 2008, 96 – Hervorhebung i. O.).

¹³⁵ Heidegger ¹⁹2006, 242.

¹³⁶ Ebd., 236.

¹³⁷ Engels 1925/1962, 554. Lacan kommt zum selben Ergebnis, wenn er die moderne Biologie mit dem Gedanken anheben sieht, „daß das Leben sich von nun an in bezug [!] auf den Tod definieren würde“. Lacan ²1991, 100.

Entropieerhöhung aus der Abgabe von Abfallstoffen an die Umwelt¹³⁸; die Prozesse, welche den lokalen Ordnungsgewinn im *Zweiten Hauptsatz* verorten, heißen also Verdauung (*Digestion*) und Ausscheidung (*Exkretion*).

Schon Boltzmann hatte erkannt, dass „die Entropie nur [kleiner] werden [kann], wenn dafür ein anderes System gleich viel oder noch mehr Entropie gewinnt“¹³⁹. Die erstere Option eines proportionalen Ausgleichs wurde von der Physik mittlerweile verworfen, welche Überkompensationen in Richtung einer positiven Entropiebilanz für den einzigen denkbaren Fall hält.¹⁴⁰ Daraus aber folgt, dass Leben, Strukturgewinn oder Selbstorganisation bloß Subroutinen des *Zweiten Hauptsatzes* sind, die sich sozusagen parasitär in den Sog der globalen Entropiezunahme eingenistet haben. Der Begriff der *dissipativen Struktur*, den mit Ilya Prigogine einer der prominentesten Vertreter der *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* geprägt hat und der Komplexitätszuwachs mit Energieverschwendung zusammendenkt,¹⁴¹ bringt exakt dieses Paradox zum Ausdruck. Im Fachjargon der Biophysik: „Leben kann als eine dissipative Struktur angesehen werden, die ihren hohen Organisationsgrad um den Preis der Entropieerzeugung in der Umgebung erhält.“¹⁴² Oder, etwas bildhafter ausgedrückt: Leben nach Schrödinger heißt, auf einem Strom der Entropie kleine Inseln der Ordnung zu errichten, die mit der Zeit gleichwohl von demselben Strom mitgerissen werden. So erschließt sich, dass der *Zweite Hauptsatz* modellbildend nicht nur für den unumkehrbaren Vorgang ‚Leben‘ wurde, sondern auch für Evolution schlechthin: Auch irreversible Komplexitätszunahme über Generationen hinweg gilt längst nicht bloß mit dem Entropiegesetz vereinbar, sondern mitunter gar als dessen Effekt.¹⁴³ Das Verbindende von Energiedissipation, Evolution und Leben ist demnach ein und dieselbe, auf Irreversibilität gründende „Zeitstruktur“.¹⁴⁴

3.3. $\Delta S=0$. Konstante Entropie und Tod

Wie lässt sich nun jener Zustand, den die Physik als ‚Tod‘ markiert und den Schrödinger als „Zerfall in das thermodynamische Gleichgewicht“¹⁴⁵ lediglich über einen Ausschluss in seine Theorie aufnimmt, charakterisieren? Es sei hierfür eine der ersten Beschreibun-

¹³⁸ Vgl. Hendrickson 2008, 96.

¹³⁹ Boltzmann 1886/1979, 38.

¹⁴⁰ Vgl. Weizsäcker 1985/1988, 176f.

¹⁴¹ Siehe Prigogine/Stengers ⁶1990, II sowie 21.

¹⁴² Schneider/Kay 1995/1997, 190.

¹⁴³ Zum Zusammenhang von Entropie, Zeitpfeil, Irreversibilität und Evolution siehe etwa Coveney/Highfield 1990/1992, 334f.; Fischer ⁴1993, 22; Weizsäcker 1985/1988, 178f.

¹⁴⁴ Siehe Weizsäcker 1985/1988, 179.

¹⁴⁵ Schrödinger ⁴1993, 128.

gen dessen angeführt, was im physikalischen Diskurs seit Hermann von Helmholtz der kosmologische ‚Wärmetod‘ genannt wird, der, da sein Eintreten eine niedrige Temperatur mit sich zöge, akkurater ‚Kältetod‘ heißen müsste¹⁴⁶:

*Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu. Je mehr die Welt sich diesem Grenzzustande, wo die Entropie ein Maximum ist, nähert, desto mehr nehmen die Veranlassungen zu weiteren Veränderungen ab, und wenn dieser Zustand endlich ganz erreicht wäre, so würden auch keine weiteren Veränderungen mehr vorkommen, und die Welt würde sich in einem toden [!] Beharrungszustande befinden.*¹⁴⁷

Dieses kosmologische Szenario ist vielfach diskutiert und in Zweifel gezogen worden, da es sich beim Kosmos um ein expandierendes und womöglich nicht einmal geschlossenes System handelt, womit die Anwendbarkeit der *statistischen Mechanik* auf selbiges fraglich wäre.¹⁴⁸ Hiervon unbenommen bleibt, dass Clausius' Beschreibung unter der Voraussetzung, dass es in der Natur geschlossene Systeme gibt, auf dieser niedrigeren Skalierungsstufe sehr wohl ihre Gültigkeit behält: „So verändert sich [ein] Körper immer weiter, bis er schließlich den Zustand mit der größten Wahrscheinlichkeit erreicht hat. *In diesem wird er verharren.* [...] Er hat den ‚Wärmetod‘ erreicht.“¹⁴⁹

Die Nähe zu Platons Todesbegriff ist augenfällig. Tod bedeutet Stillstand, das Fehlen jeglicher Veränderung, ‚Aushebelung des Zeitpfeils‘ oder, um einen positiveren Begriff zu verwenden, *Stabilität* – mathematisch gesprochen: stabile Entropie, also formal

$$\Delta S = 0. \text{ (3.XI)}$$

Dass Platon diesen Beharrungszustand, wo „alle Bewegungen zur Ruhe“¹⁵⁰ kommen, für den Fall in Anschlag bringt, dass das Leben zu *Schrift* gerinnt, ist die medientheoretische Pointe, die in Kapitel 5 dieser Arbeit mithilfe von Shannons Entropiekalkül zu bestätigen ansteht.

Dagegen ist die Pointe von Schrödingers Kalkül, dass dieser Gleichgewichts- oder „statische[] Ruhezustand“¹⁵¹ mit ihm nicht einmal formalisierbar ist. Damit das Konstrukt der *negativen Entropie* eine Berechtigung hat, muss ein wenn auch minimaler Betrag an transformationsfähiger Energie verfügbar sein. Da dies im Zustand des Gleichgewichts

¹⁴⁶ Vgl. Bauberger ²2005, 138.

¹⁴⁷ Clausius 1867, 17 – Hervorhebung i. O.

¹⁴⁸ Vgl. Boltzmann 1904/1979, 221; Bauberger ²2005, 138; Wolkenstein 1986/1990, 129; Maritsch 2009, 84.

¹⁴⁹ Weizsäcker ²2006, 56 – Hervorhebung M. W. Einzig Kälte*starre* und nicht etwa Gestalten- oder Detailarmut, da diese nicht notwendig mit maximaler Entropie zusammenfällt, ist also das definierende Kriterium des globalen Gleichgewichts: „Der Wärmetod wäre, hinreichend niedrige Temperatur vorausgesetzt, nicht ein Brei, sondern eine Versammlung von komplizierten Skeletten.“ (Weizsäcker 1985/1988, 178)

¹⁵⁰ Weizsäcker ²2006, 51.

¹⁵¹ Wehrt 1974, 144 – Hervorhebung i. O.

nicht mehr gegeben ist, würde Schrödingers Formel hier auf den Term $-S=0$ zusammenschrumpfen. Dieser jedoch ist redundant, da an seine Stelle gleichsam der aussagefähigere Term $\Delta S=0$ (3.XI) treten kann, wodurch *Stillstand* als zwar nicht *blinder*, wohl aber *nicht-formalisierbarer Fleck* im Diskurs der *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* ausgewiesen ist.¹⁵²

Letztere kennt zwar sogenannte *stationäre Nichtgleichgewichtszustände*, deren zeitliche Änderungen der Entropie – zumindest vorübergehend – ebenfalls konstant bleiben. Da sich allerdings auch in solchen Zuständen weiterhin irreversible Prozesse entwickeln, muss die Entropieproduktion, um die Nullsumme zu halten, notwendig durch einen negativen *Entropieabfluss* kompensiert werden.¹⁵³ Dies zeigt, wie porös, allenfalls *metastabil* sich Stillstellungen abseits vom Gleichgewicht annehmen, wo „[n]icht einmal unter relativ konstanten Umweltbedingungen [...] Stabilität [...] ein *steriler Endzustand* [ist]“¹⁵⁴. Einzig durch gegenseitige Aufhebung zweier oder mehrerer Irreversibilitäten und damit Instabilitäten kann solch temporäre Stabilität erzielt werden, die mithin bloß *relativ* existiert, als Ableitung oder Produkt von Bewegung, nicht aber als ein *absoluter* Stillstand, der sich aus dem System selbst heraus einstellen würde – eine Leerstelle, die auch Norbert Wiener's Kybernetik bestimmen wird.

¹⁵² Diese ablehnende Sicht auf den Stillstand trennt auch Boltzmanns physikalische Welttheorie von jener, die Prigogine vertritt. Boltzmann erwog, dass der kosmologische Wärmetod womöglich längst eingetreten sei und „durch eine riesenhafte Fluktuation vorübergehend ein Zustand verminderter Entropie wiederhergestellt wurde, den wir nun genießen“ (Broda 1979, 7). Nichtgleichgewicht und damit Bewegtheit erscheinen in dieser Perspektive somit als *abnormal*. Dagegen ist das Gleichgewicht aus der Sicht Prigogines „[i]n der Welt, die wir kennen, [...] ein seltener und prekärer Zustand“ und „das Nichtgleichgewicht *die Regel*“ (Prigogine/Stengers 1990, 137 – Hervorhebung M. W.).

¹⁵³ Siehe Wehrt 1974, 155.

¹⁵⁴ Watzlawick/Beavin/Jackson 1996, 33 – Hervorhebung M. W. Die Autoren beziehen sich in dieser Beschreibung bereits auf den kybernetischen Zustand der *Homöostase*, den Systeme über *negative Rückkopplung* erreichen können. Siehe hierzu die Ausführungen zu Wiener im Folgekapitel sowie auch Kapitel 5.5.2 der vorliegenden Arbeit.

4. *Übergang: Wiener's Kybernetik als eine Theorie des Lebens*

*Tiere reden und
übermitteln Informationen.
Aber sie schreiben nicht.*¹⁵⁵

WILLIAM S. BURROUGHS

Würde sich der vorliegende Text als ein fachwissenschaftlicher Beitrag innerhalb der Diskurse von Physik, Mathematik oder Informatik verstehen, müsste das hiesige Kapitel fortfallen und die Rede gleich zur Informationstheorie von Claude E. Shannon übergehen. Tatsächlich spielen die Arbeiten Norbert Wiener's in jüngeren natur- oder strukturwissenschaftlichen Beiträgen zum Verhältnis von Entropie und Information keine nennenswerte Rolle. Durchgesetzt hat sich der Informationsbegriff Shannons.¹⁵⁶ Dass Wiener dennoch im Rahmen dieser Arbeit eine prominente Rolle einzunehmen hat, folgt im Wesentlichen aus drei Überlegungen.

Erstens kommt Wiener ein erheblicher symptomatischer Wert innerhalb des hiesigen Argumentationsrahmens zu, da seine Theorie ein eigentümliches *double-bind* durchdringt zwischen Bestrebungen, den Informationsbegriff *rhetorisch* von Zeit und Ort abzugrenzen, einerseits, und einem *mathematischen* Programm, das in letzter Konsequenz eklatant hinter diesen Setzungen zurückbleibt, andererseits. Wiener's *Kybernetik* verkörpert gewissermaßen das Interregnum eines letztlich mit Schrödinger äquivalenten Lebensdiskurses, das jedoch an einigen Stellen bereits von der Brüchigkeit desselben zeugt.

Zweitens liegt eine Besonderheit von Wiener's Texten darin, dass sie selten in der Immanenz des physikalischen Diskurses verbleiben, sondern immer wieder ausdrücklich philosophisches Terrain berühren. Wie sich zeigen wird, sprechen gerade diese nicht-formalen Passagen oftmals eine klarere Sprache als Wiener's Kommentierungen seiner Mathematik. Wenn zudem Hartmut Wehrt auf Seiten der Physik konstatiert, zur Erklärung von Irreversibilität bedürfe es immer auch einer *Zeitphilosophie*,¹⁵⁷ erhalten Überlegungen wie diejenigen Wiener's, welche über eine rein strukturwissenschaftliche Theorie hinausgehen, nicht nur als *Popularisierung* formalen Wissens, sondern bereits auf *Sachebene* eine Virulenz.

¹⁵⁵ Burroughs 1986, 5.

¹⁵⁶ Vgl. Kassung 2001, 229.

¹⁵⁷ Siehe Wehrt 1974, 198.

Drittens verhält sich die Berücksichtigung Wieners innerhalb von Physik oder Informatik umgekehrt proportional zur medienwissenschaftlichen. In schlagender Einhelligkeit findet sich dort Wieners Bestimmung von Information als *negativer Entropie*, was nicht selten mit impliziten und unzulässigen Faltungen auf Shannons ‚Informationsentropie‘ einhergeht,¹⁵⁸ für eine epistemologische Diagnostik des *Digitalen* herangezogen. Im Folgenden wird der Nachweis versucht, dass solche Inanspruchnahmen *erstens* bereits formal nur scheitern und *zweitens* auf eine unkritische Affirmation von Wieners berühmter Behauptung zurückgeführt werden können, Information sei „weder Stoff noch Energie“. ¹⁵⁹ Darum hatte das vorangegangene Schrödinger-Kapitel nicht bloß die Funktion einer wissenshistorischen Herleitung. Vielmehr lässt sich zeigen, dass all das, was Schrödingers Lebensdefinition ausmachte – die Herleitung von Ordnung aus Unordnung, der Tod als ein Grenzwert, schließlich das Eingeholtwerden vom globalen Entropieanstieg – genau so auch für Norbert Wieners Informationsbegriff gilt. Dieses Kapitel hat sein Ziel erreicht, wenn am Ende davon überzeugt werden konnte, dass folgende exemplarisch zitierte – medienwissenschaftliche – Definition von ‚Information‘ nicht stimmt:

Aus informationstheoretischer Sicht besitzen analoge Fotografien keine Information, synthetische Radarbilder, die einer digitalen Zahlenmatrix entspringen, hingegen schon. [...] Information [ist] nicht nur schlichtweg die Formel für Entropie mit negativem Vorzeichen, sondern vielmehr ein radikaler Gegenentwurf zur Entropie. Mit dem Informationsbegriff hat man sich gänzlich vom eindimensionalen Zeitvektor der Entropie verabschiedet, denn nun lassen sich Ordnung und Unordnung beliebig vervielfältigen und abbauen.¹⁶⁰

Problematisch ist in dieser Diagnose nicht nur die Verwechslung von Eindimensionalität und Unidirektionalität – auch rückwärtslaufende Zeit hat, wenn überhaupt,¹⁶¹ nur eine Dimension –, sondern zuallererst die Annahme, mit der Negation einer Größe könnten deren qualitative Eigenschaften suspendiert werden. Dass eine Negation dagegen niemals ein Gegenentwurf sein kann, dass Wieners ‚Information‘ derselben Zeitstruktur angehört wie das Entropiegesetz, dass sie daher für eine Codierungstheorie denkbar ungeeignet ist, davon handelt dieses Kapitel.

¹⁵⁸ Siehe dazu Kapitel 5.2 der vorliegenden Arbeit.

¹⁵⁹ Hiermit schließt diese Arbeit an Horst Völz' – von der deutschsprachigen Übersetzung der *Kybernetik* und dem Großteil der Sekundärliteratur abweichende – Verdeutschung an. Im Originaltext spricht Wiener von Information als „not matter nor energy“. Völz insistiert mit Recht darauf, dass auch Energie unter Materie zu zählen ist und der Unterschied zwischen *matter* (Stoff) und *energy* vielmehr in relativer Statik vs. Dynamik besteht. Vgl. Völz 1999, 289. Zu Energie *als* Materie siehe auch Peters 1970, 162.

¹⁶⁰ Greismühl 2008, 276.

¹⁶¹ Siehe zur Kritik an dieser „spatialization of time“ aus Sicht der Relativitätstheorie Capek 1981.

4.1. Information als *negative Entropie*: Zum Verhängnis einer Formel

Hergeleitet werden soll diese kybernetische Nähe zum Lebensbegriff Schrödingers aus Wieners Diskussion jenes berühmten Gedankenspiels, das von James Clerk Maxwell erstmals 1867 als Provokation des *Zweiten Hauptsatzes* formuliert wurde. In einem Brief an Peter Guthrie Tait entwarf Maxwell folgendes Szenario: In einem Gaskolben bewege sich eine unorganisierte Menge von Teilchen, die allesamt über verschiedene Geschwindigkeiten verfügen, was der *Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung* und damit der maximalen Entropie entspricht. In der Mitte befinde sich eine Trennwand, die mit Hilfe eines Schalters bedient werden kann. An diesem Schalter sitze ein kleines Wesen mit einem sehr feinen Sinnesapparat – heute in der Regel ‚Dämon‘ genannt –, das die Aufgabe hat, Moleküle *unterhalb* einer bestimmten Temperatur in die eine, Moleküle *oberhalb* einer bestimmten Temperatur in die andere Hälfte des Gefäßes zu verschieben.¹⁶² Was durch diese Umsortierung entsteht, ist ein Temperaturgefälle und, auf den Kolben selbst angewendet, ein sogenanntes *perpetuum mobile zweiter Art*, in dem Wärme reibungsfrei zwischen einer kälteren und einer Volumenhälfte hin und her fließt.¹⁶³

Wenn Wiener dieses Gedankenspiel mit dem Begriff der *negativen Entropie* in Verbindung bringt, läge aus Sicht der Schrödinger-Lektüre zunächst die Schlussfolgerung nahe, damit sei eben dieser *thermische* Ordnungsgewinn gemeint: die Umsortierung der Moleküle von einem ungeordneten in einen geordneten Zustand. Wiener jedoch kommentiert Maxwells Szenario wie folgt: „Der Dämon kann nur auf empfangene *Information* handeln, und diese Information stellt [...] eine negative Entropie dar.“¹⁶⁴ Diese Definition wird nachvollziehbar, denken wir zurück an die *epistemische* Lesart von Entropie. Demnach war Entropie als ein Maß für das ‚Unwissen‘ eines Beobachters über das konkrete Verhalten von Einzelmolekülen definiert. Das aber heißt, dass die Entropie eines Systems bereits gesenkt werden kann, indem ein Beobachter *Information* qua Messung über die mikroskopische Ebene gewinnt. Dies entspräche einer Interzeption von Teilchen – eine solche, wie sie auch Maxwells Dämon leistet. Betrachtungen dieser Art, welche Fluktuationen im Entropiedifferential einzig im Wissen eines Beobachters veranschlagen,

¹⁶² Vgl. Maxwell 1867/1995, 331f.

¹⁶³ Vgl. Jauch/Báron 1972, 222.

¹⁶⁴ Wiener 1948/1968, 84 – Hervorhebung M. W. Eine ähnliche Deutung findet sich bereits in Leo Szilards Aufsatz „Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen“ (Szilard 1929), der als Initialzündung aller Inbezugsetzungen von Information und Entropie gelten (vgl. Jauch/Báron 1972, 221), inzwischen jedoch als widerlegt angesehen werden darf (siehe ebd., 230-232).

werden auf Seiten der Fachliteratur mal „subjektivistisch[]“¹⁶⁵, vereinzelt gar „mentalistisch“¹⁶⁶ genannt. Dies klingt zunächst denkbar immateriell, denn am System selbst hat sich scheinbar nichts verändert, sondern nur am Wissen eines Beobachters darüber. Dieser Verdacht wäre jedoch vorschnell. So lassen sich drei Argumente anführen, die auch Wieners Beschreibung, wenn er Maxwells Fiktion nämlich auf die reale Physik überträgt, immer noch in den raumzeitlichen Zwängen der thermodynamischen Welt situieren.

Erstens hört der *Maxwell'sche Dämon* nicht bei der bloßen Messung der Teilchen auf, vielmehr nutzt er seine *Information*, um ein reales Temperaturgefälle – also, im Sinne Schrödingers, eine *freie Energie* – zu erzeugen.¹⁶⁷ So erschließt sich, dass Wiener anderenorts Maxwells Dämon als ausgezeichnetes Beispiel für den prototypischen Vorgang aller Kybernetik, nämlich die Rückkopplung (*feed-back*) anführt.¹⁶⁸ Das Ziel bleibt jedoch das Gleiche wie bei Schrödinger, insbesondere wenn Wiener spekuliert: „[E]s kann [...] sein, daß *Enzyme* metastabile Maxwellsche Dämonen sind, die die Abnahme der Entropie verursachen.“¹⁶⁹ Damit tut Wiener nichts anderes, als Schrödingers Prinzip einer ‚Ordnung aus Unordnung‘ mit den Momenten Information und Regelung zu verschränken – wie inzwischen auch die Molekularbiologie sich einig ist, dass „Reaktionen, deren Effekt [...] in einer Rückkoppelung [!] auf die Ursache zurückwirkt, [...] bei lebenden Systemen praktisch die Regel sind“.¹⁷⁰

Dass solche Systeme zugleich, wie schon bei Schrödinger, auch in Wieners Theorie nur als *offen* zu denken sind, folgt bereits aus dem Umstand, dass ein messender Beobachter in der Praxis nicht gemeinsam mit dem zu messenden System isoliert werden kann. Für *reale* Messungen gilt, im Unterschied zu Maxwells Fiktion, dass, „[d]a Information immer materielle oder energetische Träger (elektromagnetische Wellen) besitzt, [...]“

¹⁶⁵ Prigogine/Stengers 1990, 215.

¹⁶⁶ Kanitscheider 1996, 102.

¹⁶⁷ Léon Brillouin, der Urheber des Begriffes ‚Negentropie‘, hat dieses Wechselspiel der zwei Typen ‚negativer Entropie‘, in explizitem Bezug auf Maxwell, Wiener und Schrödinger, als „transformation of information into negentropy“ zusammengefasst, wobei ‚Negentropie‘ in diesem Falle die *freie Energie* bezeichnet (Brillouin 1951, 335). Auch bei Bateson findet sich eine prägnante Trennung dieser zwei Bedeutungen, wenn es heißt, für den Physiker sei einzig die *Temperaturdifferenz* innerhalb einer Dampfmaschine gleichbedeutend mit ‚negativer Entropie‘, da sie die Maschine am Laufen hält, wohingegen ‚negative Entropie‘ als *Information* sämtliche Differenzen meine, „which can activate some sense organ“ (Bateson 1972/2000, 463).

¹⁶⁸ Wiener 1950/1989, 29-33.

¹⁶⁹ Wiener 1948/1968, 85 – Hervorhebung M. W.

¹⁷⁰ Prigogine und Stengers führen weiter aus: „Autokatalyse (d. h. das Vorhandensein von X beschleunigt seine Synthese), Auto-Inhibition (d. h. das Vorhandensein von X blockiert eine zu seiner Synthese benötigte Katalyse) und wechselseitige Katalyse (d. h. zwei Produkte, die zwei verschiedenen Reaktionsketten angehören, aktivieren jeweils die Synthese des anderen) stellen den klassischen Regelungsmechanismus dar, der für die Kohärenz der Stoffwechselfunktionen sorgt.“ (Prigogine/Stengers 1990, 161f.)

mit der Information auch Materie oder Energie das System erreicht oder verlassen haben [muss].¹⁷¹ Wenn Wiener ‚Information‘ als dasjenige definiert, „was mit der äußeren Welt ausgetauscht wird, während wir uns an sie anpassen“¹⁷², wird erstens dieser Umweltbezug und zweitens das vitalistische Moment der kybernetischen Informationstheorie deutlich. Das Ziel heißt auf Stoffwechselformel *stationäres Nichtgleichgewicht* oder, kybernetisch gesprochen, *Homöostase*:

der stabile Zustand eines Enzyms ist, handlungsunfähig, und der stabile Zustand eines lebenden Organismus ist, tot zu sein. Alle Katalysatoren sind letztlich vergiftet: sie verändern Verhältnisse von Reaktionen, aber nicht das echte Gleichgewicht. Nichtsdestoweniger haben Katalysatoren und der Mensch in ähnlicher Weise hinreichend bestimmte Zustände der Metastabilität, um die Anerkennung dieser Zustände als relativ dauerhafte Bedingungen zu erlangen.¹⁷³

Ganz so, als wolle er seine Nähe zur Biophysik unterstreichen, schreibt denn Wiener schließlich, die Untersuchung der Möglichkeit *Maxwell'scher Dämonen* sei „wesentlich für das klare Verständnis fundamentaler Phänomene der *lebenden* Substanz [...]“¹⁷⁴.

Zweitens: Maxwell hatte für seinen Dämon vorausgesetzt, es handele sich um ein Wesen „frei von Reibung und Trägheit“¹⁷⁵. Diese Bedingung ist nicht aufrechtzuerhalten, konfrontiert man sie mit der physikalischen Theorie *nach* Maxwell, wobei sich die folgenden Ausführungen gleichsam auf eine Analyse Léon Brillouins stützen, der mit Wiener den Informationsbegriff teilt.¹⁷⁶ Der Dämon, so fiktiv er auch sein mag, muss die Teilchen auf irgendeine Art und Weise *sehen* können. Nun herrscht im Gasbehälter, wie angesprochen, zu Anfang das thermische Gleichgewicht und damit die sogenannte *Schwarzkörperstrahlung*. Das heißt, sämtliches Licht innerhalb des Kolbens wird vollständig absorbiert.¹⁷⁷ Damit der Dämon die Teilchen sehen und abfangen kann, muss also, wie Wiener selbst anmerkt, eine zusätzliche Strahlung in das System eingeführt werden, etwa – so wiederum Brillouin – mittels einer batteriebetriebenen Taschenlampe.¹⁷⁸

Wiener benennt das daraus entstehende Dilemma explizit. Gemäß der *Heisenberg'schen Unschärferelation* ist es

unmöglich, irgendeine Information zu erhalten, die die Lage oder den Impuls einer Partikel angibt [...], ohne eine positive Wirkung auf die Energie des untersuchten Teilchens auszuü-

¹⁷¹ Wehrt 1974, 137.

¹⁷² Wiener 1950/1989, 17 – Übersetzung M. W.

¹⁷³ Wiener 1948/1968, 85.

¹⁷⁴ Ebd., 31 – Hervorhebung M. W.

¹⁷⁵ So Maxwell in einem weiteren, undatierten Brief an Tait, zit nach. Lex/Reff 1990, 5 – Übersetzung M. W.

¹⁷⁶ Siehe Brillouin 1956/2004, 1f.

¹⁷⁷ Vgl. Brillouin 1951, 334.

¹⁷⁸ Vgl. ebd., 335.

ben, die ein Minimum überschreitet, das von der Frequenz des für die Untersuchung benutzten Lichtes abhängt.¹⁷⁹

Indem die Strahlung, die zur Messung benötigt wird, selbst eine Energiequelle darstellt, kontaminiert sie also das System. Dies entspricht in der realen Experimentalphysik, obwohl es auf Partikelebene keine Irreversibilität gibt, sehr wohl einem Entropieanstieg, zumal die Information von einem *makroskopischen* Messgerät gewonnen wird.¹⁸⁰ Der globale Entropiezuwachs ist also nicht durch Information zu eskamotieren, im Falle der quantenmechanischen Messung ist er mit dieser Bestrebung sogar koemergent – und führt letztlich zu einer positiven Entropiebilanz.¹⁸¹ Pointiert ausgedrückt: Für Wieners ‚Information‘ gilt das Gleiche wie für die Nahrungsaufnahme bei Schrödinger; am Ende beider Prozesse siegt Dissipation über Struktur.

Bei Platon hieß es über den Leib (*sôma*) im Unterschied zur Seele (*psuchê*), wenn man sich seiner „bedient, um etwas zu betrachten, es sei durch das Gesicht oder Gehör oder irgendeinen anderen Sinn“, dass dann die Seele von eben diesem Leib „gezogen wird zu dem, was sich niemals auf gleiche Weise verhält, und daß sie dann selbst schwankt und irrt und wie trunken taumelt, weil sie ja ein eben solches berührt“¹⁸². Bei Wiener heißt es: „Auf die Dauer gesehen ist der Maxwellsche Dämon selbst Gegenstand einer zufälligen Bewegung, und wie LEIBNIZ von einigen seiner Monaden sagt, erhält er eine große Zahl von kleinen Eindrücken, bis er ‚in einen gewissen Schwindelanfall‘ verfällt.“¹⁸³ Trunkenes Taumeln und Schwindel sind also bei Platon wie bei Wiener die Folgen eines Zuviels an Messung, nur dass Platon, nicht aber Wiener, diesem Taumel ausdrücklich die Statik der Ideenwelt entgegensetzt: „die Erkenntnis bedarf der Feststellung.“¹⁸⁴

¹⁷⁹ Wiener 1948/1968, 85.

¹⁸⁰ Vgl. Brillouin 1951, 336f. sowie Coveney/Highfield 1990/1992, 380.

¹⁸¹ Leo Szilard hatte 1929 noch eine ‚glatte‘ Kompensation erwogen (siehe Szilard 1929, 847). Einer der komplexesten Versuche, eine *Proportionalität* von mikroskopischem Wissenserwerb und makroskopischem Strukturverlust zu begründen, geht auf John von Neumann zurück. Neumann war folgerichtigerweise davon ausgegangen, dass Entropieerhöhungen qua Diffusion nur dann vorliegen, wenn einem Beobachter die genauen Orts- und Impulskoordinaten der Teilchen unbekannt sind. Seine daran anschließende Wendung, Entropieerhöhungen könnten gegen das über quantenmechanische Messungen gewonnene mikroskopische Wissen ‚eingetauscht‘ werden (siehe Neumann 1932/1968, 212f.), wurde innerhalb der jüngeren Medienwissenschaft zwar affirmativ aufgenommen (siehe Hagen 2002, 212f., Anm. 54), von physikalischer Seite, die eine ‚fundamentale Ungleichheit‘ beider Bewegungen konstatiert, jedoch längst in Zweifel gezogen (siehe Lindblad 1973). Sämtliche Postulate eines *kompensationsfreien* Ausgleichs von Strukturverlust durch Information können daher als physikalisch problematisch, wenn nicht unhaltbar verbucht werden. Siehe dazu auch Weizsäcker 1974, 15f.

¹⁸² Platon: *Phaidon*, 79a-c, zit. nach Schmidt 2004, 213.

¹⁸³ Wiener 1948/1968, 85. Siehe dazu auch Jauch/Báron 1972, 222: „To use a medical analogy, the demon who wants to operate the molecular trap is like a patient with a severe case of Parkinson's disease trying to thread a fast-vibrating needle!“

¹⁸⁴ Schmidt 2004, 213.

Das *dritte* Argument folgt schließlich aus der Formel, die Wiener für seine ‚Information‘ aufstellt.¹⁸⁵

$$-\log_2 \frac{\text{Maß}(a, b)}{\text{Maß}(0, 1)} \quad (4.I)$$

Diese Ausdruck ist so zu lesen, dass im Nenner die Ausgangssituation *vor* der Messung – eine Größe befindet sich in einem Intervall, hier zwischen 0 und 1 – und im Zähler ihre Spezifizierung *durch* die Messung – die Größe befindet sich im Intervallabschnitt (a, b) – angegeben ist. Der Wert dieses Terms, den Wiener „Betrag der Information“¹⁸⁶ nennt, ist also *positiv*. Dass es sich bei Wieners ‚Information‘ dennoch um eine *negative* Entropie handelt, erschließt sich, wenn wir den Ausdruck umformen:

$$-\log_2 \frac{\text{Maß}(a, b)}{\text{Maß}(0, 1)} = \log_2 \text{Maß}(0, 1) - \log_2 \text{Maß}(a, b) \quad (4.II)$$

Demnach muss es sich bei dem Term $-\log_2 \text{Maß}(a, b)$ um die ‚Information‘ handeln – die also mit dem *Wissenserwerb* zusammenfällt, durch den die Situation spezifiziert wurde.

Damit aber hat besagte Formel (4.I) eine sehr verhängnisvolle Eigenschaft, der sich Wiener selbst nicht bewusst gewesen zu sein scheint. So heißt es am Anfang seiner *Kybernetik*: „Wie der Informationsgehalt eines Systems ein Maß für den Grad der Ordnung ist, ist die Entropie eines Systems ein Maß für den Grad der Unordnung, und das eine ist einfach das Negative des anderen.“¹⁸⁷ Allein, diese Definition ist weder ‚einfach‘ noch logisch akkurat. Dies folgt zunächst aus dem intuitiven Verständnis von ‚Maß‘: Aus dem Alltag vertraute Messgrößen wie Länge oder Gewicht zeichnen sich dadurch aus, dass mit ihrem Anwachsen ein *positives* Wachstum auf einer Skala einhergeht, nicht jedoch die Tendenz hin zu einem *Negativwert*. Vor allem aber wird Wieners Aporie gerade am Falle der Entropie deutlich. In der physikalischen Welt kann es nämlich unter keinen Umständen ein System mit negativem Entropiewert geben; dies aber wäre die Bedingung dafür, dass es sich bei Wieners *negativer Entropie* um ein Maß in eigenem Recht handeln kann. Denken wir an das ‚ordentliche‘ Gasmodell in *Abb. 1* dieser Arbeit zurück, wo sich alle Teilchen in der rechten Hälfte des Volumens befanden, dann war die Ordnung dort zwar maximal, der Entropiewert allerdings *nicht* negativ, wie er es mit Wiener sein müsste, sondern gleich 0. Ein negativer Entropiewert in der statistischen Lesart würde bedeuten, dass sich ein System in weniger als einem Mikrozustand befindet; in der epistemischen

¹⁸⁵ Siehe Wiener 1948/1968, 88.

¹⁸⁶ Ebd., 87.

¹⁸⁷ Ebd., 31.

Lesart würde er bedeuten, dass der Betrachter mehr über ein System weiß, als er über das System wissen kann. Beide Varianten verfangen weder empirisch noch logisch.

Etwas salopper ausgedrückt, *negative Entropie* als ein Maß für Ordnung zu benutzen, käme dem Versuch gleich, die Kleinwüchsigkeit eines Menschen in der Größe Negativmeter zu messen. Freilich kann kein Lebewesen so klein sein, dass seine Körpergröße kleiner 0 wäre; ebenso haben geordnete Zustände in physikalischen Systemen *keine* negative Entropie, sondern lediglich eine sehr kleine. Es genügt also vollkommen der positive Entropiebegriff, um Ordnung zu beschreiben.¹⁸⁸

Unter welcher Bedingung aber lässt sich Wieners formaler Ausdruck dann plausibel machen? Einzig unter der oben erwähnten, dass es zu einem Zeitpunkt t_1 die Entropie S_1 von einem bestimmten Wert gibt, von dem durch eine Messung, die *Unwissen* auf Beobachterseite reduziert, ein bestimmter Entropiebetrag *abgezogen* werden kann. Dieser Vorgang hat eine geringere – aber dennoch positive – Entropie S_2 zum auf die Messung folgenden Zeitpunkt t_2 zur Folge. ‚Information‘ nach Wiener heißt also Verminderung von Unwissen, Eingrenzung des *Spielraums*, Reduktion von Kontingenz. Das aber heißt notwendig: Information ist eine Form der *Bewegung*. In bestechender Klarheit, „the removal of entropy for the creation of information presupposes the existence of a larger amount of entropy in the first place. If there is no entropy, there can be no negentropy either“¹⁸⁹. Damit liegt nun auch ein mathematisches Indiz dafür vor, dass Wieners Informationsbegriff noch immer auf dem ‚Ordnung aus Unordnung‘-Modell aufbaut und damit auf etwas verwiesen bleibt, das unzweifelhaft am *Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik* Maß nimmt: die Unausweichlichkeit des Strukturverlustes, den es, das ist die Pointe bei Wiener, nun durch Informationserwerb und *feed-back* aufzuschieben gilt. Zwischen Zuschreibungen wie jener, dass

[...] Wieners Abgrenzung der Information von Materie und Energie [...] Information zu einer quantifizierbaren ‚Universalmünze‘ [machte], die es erlaubt, alle Ereignisse unter dem Gesichtspunkt ihrer nachrichtentechnischen Codierung und *unabhängig von ihrer raumzeitlichen Situierung und ihrer jeweiligen Bedeutung vergleichbar und übertragbar zu machen*¹⁹⁰

¹⁸⁸ Die medienwissenschaftliche Neigung, „Entropie versus Information“ (Pias 2004, 299) als komplementäres Begriffspaar anzuführen, erübrigt sich damit. Wenn beispielsweise Kittler mit Blick auf die Hardware-Architektur von Digitalcomputern das Umkippen „von einer Million schlummernder Transistorzellen in elektrische Spannungsdifferenzen“ als „materielle Transformation von Entropie in Information“ bezeichnet (Kittler 1993f, 231), so lautete die korrekte Formulierung dafür, dass *hohe* Entropie (= wahrscheinliche Anordnung) in *niedrige* Entropie (= unwahrscheinliche Anordnung) umgewandelt wird.

¹⁸⁹ Weizsäcker/Weizsäcker 1998, 501.

¹⁹⁰ Krämer 2002, 49 – Hervorhebung M. W.

und dem Forschungsprogramm, das Wiener selbst in Anschlag bringt, herrscht also eine erhebliche Spannung: „Durch Kontrolle und Kommunikation kämpfen wir stets gegen die *Tendenz der Natur an, Ordnung abzubauen und Bedeutsames zu zerstören*; die Tendenz [...] hin zu größer werdender Entropie.“¹⁹¹

4.2. *Nature comes first*: Zum analogtechnischen Index von Wieners Theorie

Es ist deutlich geworden, dass Wieners ‚Information‘ weder Ordnung noch ein Maß für letztere bedeutet, sondern nur als *Herstellung* von Ordnung gedacht werden kann. Am Beispiel der Messung hat sich zudem gezeigt, dass diese Informations*gewinnung*, indem sie stets ihre materiellen Spuren hinterlässt, unweigerlich dem *Zweiten Hauptsatz* gehorcht. Gleichwohl scheint im letztgenannten Falle der Ordnung*sgewinn* selbst, also das erworbene ‚Systemwissen‘, von diesem materiellen System abgekoppelt, da die Entropie*senkung* nicht auf dessen innere Organisation, sondern auf Beseitigung eines vorangegangenen Unwissens in besagtem Beobachter verweist. Selbst diese Perspektive jedoch, die Entropie als „a logical rather than a physical concept“¹⁹² erscheinen lassen mag, lässt Wiener in den Folgeausführungen fallen, wenn er nämlich den Vorschlag macht:

Wir wollen *u* als Nachricht behandeln und *v* als Rauschen. Dann ist die Information, die durch eine genaue Nachricht bei Fehlen eines Rauschens übertragen wird, unendlich. In Gegenwart einer Störung jedoch ist dieser Informationsgehalt endlich, und er erreicht sehr schnell den Wert 0, wenn die Störung an Intensität zunimmt.¹⁹³

Hier scheint die Information plötzlich auf Systemseite selbst angesiedelt, da kein Beobachter eine unendliche Menge an Information aufnehmen könnte – ganz zu schweigen davon, dass im gegenteiligen Fall dieser Beobachter als eine *tabula rasa* vorzusetzen wäre, ihm also sämtliches Vorwissen um eine beliebige Situation abgesprochen werden müsste, denn anderenfalls könnte die Information nicht unendlich sein. Worum es Wiener geht, wird vielmehr in korrespondierenden Passagen zweier anderer Texte deutlich. In seinem Essay *The Human Use of Human Beings* definiert er, Nachrichten seien „selbst eine Form von Struktur und Organisation“¹⁹⁴. Dies kann mit der Definition von Information als *negativer Entropie* und damit *Ordnungsherstellung* nur unter der Bedingung vereinbart werden, dass besagte ‚Struktur‘ aufgerechnet wird gegen eine vorgängige Unordnung auf Seiten jener Phänomenebene, der auch besagte Nachricht angehört, und nicht

¹⁹¹ Wiener 1950/1989, 17 – Übersetzung und Hervorhebung M. W. Wie sich im Folgekapitel zeigen wird, befreit erst Shannons Nachrichtentheorie ‚Information‘ sowohl von ihrer ‚raumzeitlichen Situierung‘ (Krämer) als auch vollständig von Semantik.

¹⁹² Rudolph Carnap, zit. nach Leff/Rex 1990, 20.

¹⁹³ Wiener 1948/1968, 90.

¹⁹⁴ Wiener 1950/1989, 21 – Übersetzung und Hervorhebung M. W.

gegen ein Unwissen auf Seiten des Empfängers. Einfacher ausgedrückt: Wieners Ordnungsbegriff ist im Wesentlichen zugeschnitten auf die Problematik *analoger* Nachrichtentechnik. Die Unordnung, die es zu senken gilt, besteht dort aus „Signal[en] mit *zufälligem* Amplitudenverlauf“¹⁹⁵ – mithin *Rauschen*.

Nirgends wird dies klarer als in Wieners Aufsatz *Zeit, Kommunikation und das Nervensystem*. Während Schrödinger mit seinem Formalismus der *negativen Entropie* an einer Unordnung im Organismus ansetzte, um hieraus das Vorkommen von Ordnung abzuleiten, will Wiener auch Übertragungsprozesse in der Rundfunktechnik nach diesem Modell verstanden wissen:

Der Ausgangspunkt ist [...] eine Nachricht, die mit einer anderen, unerwünschten Nachricht, die wir Rauschen nennen, irgendwie durcheinandergeraten ist. Das Problem der Entwirrung dieser Nachrichten samt einer Wiederherstellung der ursprünglichen, bis auf eine eventuelle Zeitverschiebung möglichst wenig veränderten Nachricht bildet die Aufgabe der Filterung. Man benötigt beim Radio Filter, um atmosphärische Störungen und Röhrenrauschen zu eliminieren [...].¹⁹⁶

Damit tritt an die Stelle des *Maxwell*- ein *Radio-Dämon* namens Wellenfilter. Jener war damit beauftragt, aus einem heißkalten Gewirr nur bestimmte Teilchen dies- und jenseits der Trennwand zu befördern; dieser hat die Aufgabe, nur bestimmte Anteile aus einem verrauschten Signalgewirr durchzulassen. Damit ist, frei von jeglichem Subjektivismus, die ‚Information‘ *identisch* mit jener Wunschfrequenz, die aus allen gesendeten Frequenzen herauszufiltern war. Spätestens hier aber verliert die Behauptung, Wieners Information bezeichne nichts Materielles, ihre Berechtigung – Frequenzen als Schwingungen in der Sekunde, sie sind für Friedrich Kittler gerade umgekehrt das Urmoment des medientechnisch *Realen*.¹⁹⁷ Darum scheint der Befund, „[d]ie ganze kybernetische Epistemologie funktionier[e] nur und ausschließlich auf der Basis des Digitalen“¹⁹⁸, problematisch, wenn nicht anachronistisch, es sei denn, man klammerte aus besagter Epistemologie ihre Gründungsfigur Wiener aus.

Wie ist es vor diesem Hintergrund nun um dessen Ausruf bestellt, Information sei ‚weder Stoff noch Energie‘? Wenn es sich bei Wieners ‚Information‘ tatsächlich um ein Maß handelte – was es, wie aufgezeigt, nicht tut –, wäre es sofort als Tautologie entlarvt. Denn Maße sind Konzepte und damit niemals materiell, sondern immer schon abstrakt

¹⁹⁵ Rautzenberg 2010, 133 – Hervorhebung i. O.

¹⁹⁶ Wiener 1948/2002, 164.

¹⁹⁷ Vgl. Kittler 1986, 41f.

¹⁹⁸ Pias 2003, §21.

– wie es etwa in der Natur kein Ding ‚Temperatur‘ gibt.¹⁹⁹ Wie aufgezeigt, ist die Lage bei Wiener jedoch diffiziler. Am Beispiel des Wellenfilters ist die ‚Information‘ vollkommen materiell; dass sie in Differenz zu anderen, ‚unerwünschten‘ Anteilen eines wiederum materiellen Spektrums definiert ist, markiert das einzig ‚Ideelle‘ an ihr. Die Gleichsetzung von ‚Information‘ mit dem ‚Wissen‘ eines Beobachters – zumal im Falle der quantenmechanischen Messung, die für Wieners Diskussion des *Maxwell'schen Dämons* modellbildend ist – scheint dagegen zunächst auf dem Feld einer transmateriellen „Bewusstseinsphysik“²⁰⁰ angesiedelt. Allein, molekulare Geschwindigkeits- und damit Temperaturdifferenzen können automatisch detektiert werden,²⁰¹ womit Wieners Beschreibung auch unter Zuhilfenahme vollends mechanistischer Begriffe keiner Modifikation bedürfte. Wenn im Anschluss an Bateson den Menschen vom Tier unterscheidet, dass nur jener Negationen und damit Symbole bilden kann,²⁰² auf Nervenreize und damit Informationen jedoch auch Hunde reagieren können,²⁰³ dann macht dies den Anschluss von Wieners Theorie zumindest an eine Codierungstheorie denkbar schwierig.²⁰⁴

Nach Lacans berühmter Definition ist das Reale das, was sich „immer an seinem Platz“²⁰⁵ befindet – gleichgültig, ob es zwischenzeitlich in „Unordnung“²⁰⁶ oder eben, so kann es nun auf Wiener gewendet werden, in ‚Ordnung‘ gerät, sei es durch die Messung von Molekülgeschwindigkeiten oder die Filterung von Rundfunkfrequenzen. Für seine Kybernetik gilt, global und irreduzibel: *nature comes first*.

¹⁹⁹ Vgl. Eysenck 1979, 10.

²⁰⁰ Hagen 2002, 213, Fn. 54.

²⁰¹ Vgl. Jauch/Báron 1972, 231.

²⁰² Vgl. Bateson 1972/2000, 54f.

²⁰³ Vgl. Watzlawick/Beavin/Jackson ⁹1996, 30. Dies mag *erstens* der Grund dafür sein, warum es Wiener möglich ist, bereits im Untertitel der *Kybernetik* Tiere, Menschen und Maschinen auf ein und dasselbe Modell zu bringen, und *zweitens* erklären, wieso er analogen gegenüber digitalen Technologien, die ohne Symbolismus ja nicht denkbar sind, in seiner Forscherlaufbahn – im Unterschied zu Shannon – den Vorzug gab. Siehe dazu am Beispiel des *Prädiktors*, einem Vorhersageapparat zu Zwecken der Flugabwehr, Roch 2009, 60–64.

²⁰⁴ Jene Stelle, an der Wiener einer solchen Theorie am Nächsten kommt, findet sich in der *Kybernetik*, wenn der Informationsbegriff auf das Beispiel des Münzwurfs angewandt wird (siehe Wiener 1948/1968, 87). Dieses Szenario ist ein ganz und gar unphysikalisches, da nicht die Reibungsverluste der Münze während des Wurfes respektive Aufpralls von Interesse sind, sondern lediglich die Binarität der Symbole ‚Wappen‘ und ‚Zahl‘. Allein, im Kontext von Wieners Gesamttext kann dieses Beispiel als symbolistische Ausnahme einer ansonsten streng materialistischen Regel gelten. Zudem gilt auch hier, dass die Information erst als *Spezifizierung* der zunächst ungewissen, also ‚höher-entropischen‘ Situation in Anschlag kommt. Der vitalistische Subtext durchdringt damit selbst diesen Anwendungsfall und wird anderenorts zum Klartext: Dort nämlich legitimiert es Wiener ausdrücklich, „alle Phänomene, die stromaufwärts *gegen* den Strom anwachsender Entropie schwimmen“, unter dem Begriff „Leben“ zu summieren (Wiener 1950/1989, 32 – Übersetzung und Hervorhebung M. W.) – und damit auch das erworbene Wissen um die nach oben zeigende Seite einer Münze.

²⁰⁵ Lacan ²1991, 376.

²⁰⁶ Ebd., 377.

4.3. *Unmöglicher Stillstand: Informationsgewinnung als Todeskampf*

„Leben“ heißt irreversible Bewegung und „Tod“ Stillstand. Dass dieser mit Wieners „negativer Entropie“ nicht formulierbar ist, da sich mit ihr stets nur *Entfernungen* von Zuständen höherer Entropie anschreiben lassen, ist deutlich geworden. Damit geht Wiener im Grunde noch weiter als Schrödinger, dessen *negative Entropie* als „freie Energie“ Bedingung dafür war, dass ein Stück Materie „etwas tut“, wohingegen *negative Entropie* als „Information“ *selbst* eine Form der Bewegung ist. Die damit verbundene Zeitphilosophie mitsamt ihrer Dilemmata, welche – so die methodische Funktion dieses Kapitels – den Folgeausführungen über die „Zeitlosigkeit des digitalen Codes“ die epistemologische Kontrastfolie bieten, können nun explizit gemacht werden. Wieners Kybernetik nämlich setzt den *Zweiten Hauptsatz* nicht außer Kraft – sie spiegelt ihn lediglich:

Keine Operation auf einer Nachricht kann im Mittel Information gewinnen. Hier haben wir eine präzise Anwendung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik auf die Nachrichtentechnik. Umgekehrt wird im Mittel [...] die Spezifizierung einer unbestimmten Situation im allgemeinen Information gewinnen und nie verlieren.²⁰⁷

Das Gleichgewicht als einziger thermodynamischer Zustand, der buchstäblich *stillsteht*, kann also nur von zwei Seiten eingegrenzt werden – die eine ergibt sich automatisch als fortschreitender Strukturverlust, die andere als kontrollierende *Entropiesenkungsbewegung* –, ist aber nicht selbst Gegenstand der kybernetischen Betrachtung. Wie schon thermodynamisch informierte Theorien der Evolution diese als nicht minder erbarmungslos fortschreitendes Zeitphänomen modellieren wie den globalen Entropiezuwachs, auf dessen Grundlage sich jedes Leben überhaupt erst vollzieht – mithin als „*immer komplexer*“²⁰⁸ werdende Strukturen als Unterklasse einer *immer stärker degradierenden* Welt –, gibt es auch in Wieners Theorie der Informationsgewinnung also kein Zurück und kein Verharren.

Dieser geteilten Zeitstruktur von Ordnungsverfall und -gewinn liegt nun weniger eine Umdeutungsleistung Wieners als vielmehr eine aussagenlogische Notwendigkeit zugrunde. So erfüllt eine rein *negative* Definition von „Information“ sämtliche Kriterien, die der Mathematiker Reinhold Baer als Bedingung für einen „logischen Isomorphismus“ vorgegeben hat:

Unter einem Isomorphismus wird eine solche umkehrbar eindeutige Zuordnung der Dinge eines Systems zu den Dingen eines anderen Systems, der Relationen zwischen den Dingen des ersten Systems zu denen des zweiten Systems verstanden, daß Dingen des ersten Systems, die eine der einschlägigen Relationen erfüllen bzw. nicht erfüllen, solche Dinge des zweiten Systems zugeordnet sind, die die zugeordnete Relation erfüllen bzw. nicht erfüllen.

²⁰⁷ Wiener 1948/1968, 91.

²⁰⁸ Hendrickson 2008, 71 – Hervorhebung M. W.

[...] Daß dies wirklich eine Isomorphie ist, folgt wesentlich aus dem Satz vom ausgeschlossenen Dritten, dem Satz vom Widerspruch und der Tatsache, daß die Negation einer Konjunktion gleich der Disjunktion des Negierten ist.²⁰⁹

Anders gesagt: Negationen können qualitative Eigenschaften der jeweiligen Konjunktion bloß umkehren, nicht aber entfernen oder gar neue hinzufügen. Dies bestätigt auf einer von Wiener abstrahierenden Ebene, dass Negationen niemals eine Begrifflichkeit oder gar Messgröße in eigenem Recht sein können. „Jede Aussage“, so Baer weiter, „ist zwar von ihrer Negation verschieden, aber es besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen positiven und negativen Aussagen, sogar schärfer: zwischen einer Aussage und ihrer Negation.“²¹⁰

Besagter temporaler *Isomorphismus* der Komplementärbewegungen ‚Degradation‘ und ‚Information‘ findet sich in einer Passage aus Wieners *The Human Use of Human Beings* auf anschauliche Weise poetisiert. Die Rede ist dort vom „passive[n] Widerstand der Natur und de[m] aktive[n] Widerstand eines Gegenspielers“²¹¹ – ein Kampf, den Wiener als Rivalität zwischen einem *augustinischen* und einem *manichäischen* Dämon das Weltgeschehen bestimmen sieht. ‚Leben‘ heißt demnach, sich statt einem ‚dummen‘, dem Entropiegesetz unterworfenen *augustinischen* einem intelligenten, *manichäischen* Dämon auf die Seite zu stellen,²¹² wobei im einen Fall Strukturen unwiederbringlich verloren gehen und im anderen Fall unweigerlich anwachsen. Hiermit aber verliert ‚Entropie‘ endgültig den Charakter einer Zustandsgröße und steht metonymisch für den *Zweiten Hauptsatz* ein – eine Begriffsverengung, an deren Aporie noch jüngere Texte der Medienwissenschaft laborieren. Solch Gleichsetzung von ‚Entropie‘ mit ‚Zeitpfeil‘ ist nicht nur unterkomplex,

²⁰⁹ Reinhold Baer, Vortrag auf dem *Zweiten Hegel-Kongress* in Berlin (1932), zit. nach Günther 1964, 8f.

²¹⁰ Ebd., 9. Wieners Negation des *Zweiten Hauptsatzes* in Richtung eines wenn auch bloß epistemischen Strukturgewinns schließt letztlich, bildet man sie vollständig auf das ihr *isomorphe* Entropiegesetz ab, notwendig ein, dass auch der Informationsgewinn *irreversibel* zu sein hat: Findet sich Wissen einmal erworben, ist das vorangegangene Unwissen nicht wiederherstellbar, es sei denn, durch Zurücksetzen des Speichers. Gemäß dem auf Speicherprozesse in Computern bezogenen *Landauer-Theorem* ist es allerdings gerade dieser *dissipative* Löschprozess, welcher eine größere Entropiezunahme zur Folge hat, als es einer vormaligen Entropiesenkung durch die ursprüngliche Messung äquivalent wäre (siehe Landauer 1987/1990, 261 sowie, gewendet auf den *Maxwell'schen Dämon*, Bennett 1982/1990, 235). All dies ist vollkommen kompatibel mit der Zeitstruktur des *Zweiten Hauptsatzes* und ein weiteres Argument dafür, dass von einer *Suspension der Zeit* in Wieners Informationsbegriff keine Rede sein kann.

²¹¹ Wiener 1950/1989, 36 – Übersetzung M. W.

²¹² Siehe ebd., 35. Maximal entfernt vom *mathematischen* Entropiebegriff, der vollkommen indifferent gegenüber einer Zeitrichtung ist, kulminiert Wieners *metonymische* Lesart damit in jener *metaphysischen* Deutung des *Zweiten Hauptsatzes* respektive einer dagegen ankämpfenden ‚Informationsanhäufung‘, wie sie am Schülerndsten von Vilém Flusser vorgebracht wurde: „Die These, die menschliche Kommunikation sei ein Kunstgriff gegen die Einsamkeit zum Tode, und die These, sie sei ein Prozeß, der gegen die allgemeine Tendenz der Natur in Richtung Entropie [!] läuft, behaupten beide dasselbe“ (Flusser 1996, 13) – als gäbe es irgendeine Ordnung ohne dazugehörigen Entropiewert.

sondern verspielt den Blick auf andere Seins- und Zeitformen, die mit dem Entropiemaß anschreibbar sind.²¹³

An dieser Stelle ist ein kurzer Abgleich mit dem *Vorspann* dieser Arbeit geboten. Bei Platon war Leben, am Beispiel der Dialogik, als etwas definiert, das immer in Bewegung ist. Exakt das Gleiche gilt für Schrödingers Biophysik wie für Wieners Kybernetik: Beide suggerieren eine stetige Pendelbewegung zwischen globaler Entropiezunahme einerseits und lokalen Entropieabnahmen andererseits, die sich gegenseitig hochschaukeln, und sobald die maximale Entropie, also der Tod eingetreten ist, endet die Zuständigkeit beider Theorien. Was aus ihnen herausfällt, ist – um im Bild zu bleiben –, notwendig der *Stillstand* des Pendels. Dies galt es in der gegebenen Ausführlichkeit aufzurollen, um im Folgenden nun umso klarer hervortreten zu lassen, welcher radikalen Schlussstrich Claude Shannons Informationsbegriff unter diese Angst vor dem drohenden Stillstand und ihrer Verhaftetheit in der thermodynamischen Welt zieht.

²¹³ „Entropie, Wärmeverlust, Strukturverlust, Unsicherheit, Instabilität, Irreversibilität“ (Hagen 2002, 217) – in solchen Reihungen fungiert das Entropiemaß als Platzhalter für den *Zweiten Hauptsatz*, obgleich es in der Physik ausdrücklich *nicht* als Prozessgröße definiert ist. Wie aufgezeigt, sind sowohl Stabilität, mithin die Aushebelung des Zeitpfeils im Gleichgewicht, als auch Zustände maximaler Ordnung mit ihm formalisierbar. Ebenso irrig sind Formulierungen wie die, dass „Archivieren [...] Informationen der Entropie entreiß[e]“ (Schröter 2004, 61), da etwas, dem der Wert einer Zustandsgröße zuordenbar ist, derselben Größe wohl kaum entrissen werden kann.

5. Zusammenführung: Digitalität als *Tod* mit Shannon

5.1. *Signal vs. Nachricht*: Shannons Informations- als Entkörperlichungstheorie

Der Bruch zwischen Wiener und Shannon ist ein zweifacher. Der *Gegenstandsbereich* von Shannons Theorie abstrahiert so drastisch von der physikalischen Welt, wie es Wieners *Kybernetik* und deren Insistenz auf Umweltbezüge, materiellen Ordnungsgewinn und Unschärferelationen nicht möglich war. Die *Mathematik*, die Shannon hierbei in Anschlag bringt, steht gleichwohl dem physikalischen Kalkül Boltzmanns ungleich näher als der Formalismus Wieners. Deshalb ist es geboten, das folgende Kapitel mit einer Analogie zu beginnen, die einen Bogen zu den Anfängen des ‚Entropiediskurses‘ schlägt.

Das Verbindende ist die Suche nach Grenzwerten. Am Anfang der Thermodynamik stand die praktische Frage, wie maximale Arbeit aus dem Wirken einer Dampfmaschine gewonnen werden kann. Am Anfang von Shannons Informationstheorie steht die Frage, wie ein Maximum an Datenübertragung durch einen Nachrichtenkanal zu erreichen ist, wie sich also Daten am ökonomischsten kommunizieren lassen. „Wieviel Entropie oder Information haben Nachrichtenquellen? [...] Welche maximale Rate der Übertragung bei gegebener Kanalkapazität und Entropie ist innerhalb eines gestörten bzw. ungestörten Kanal [!] erreichbar?“²¹⁴ Hiermit ist bereits zweimal der Begriff gefallen, der Shannon mit Boltzmann verbinden und von Wiener trennen wird.

Bevor jedoch auf Shannons nachrichtentheoretische Wendung des Entropiebegriffes eingegangen wird, sei zunächst die grundlegende Frage berührt, was in diesem Kontext unter ‚Kommunikation‘ zu verstehen ist. In aller Kürze setzt Shannons berühmtes Modell, wie es in der *Mathematical Theory of Communication* aufgestellt wird,²¹⁵ voraus, dass es einen physikalischen Kanal gibt, durch den sogenannte *Signale* übertragen werden, die ihrerseits physikalischer Natur sind. Diese Eigenschaft folgt unmittelbar aus Shannons Erwägung, dass besagte Signale durch *Rauschen* gestört werden können²¹⁶: Wie im Zusammenhang mit Wiener angesprochen, kann Rauschen als *materielle* Störung seinerseits nur materielle Phänomene erfassen. Zusätzlich zum Begriffspaar ‚Signal/Rauschen‘ führt Shannon jedoch einen dritten Begriff ein, der im hiesigen Kontext der Entscheidende ist, weil er im Unterschied zu Wiener eine *symbolische* Abstraktionsebene aufspannt. *Kom-*

²¹⁴ Roch 2009, 145.

²¹⁵ Siehe Shannon 1948/2000a, 11.

²¹⁶ Ebd., 41.

muniziert nämlich werden nicht Signale, sondern etwas, das Shannon die ‚Nachricht‘ (*message*) nennt. ‚Nachrichten‘ jedoch sind – *nichts* Materielles.²¹⁷

Shannon macht dies ausdrücklich, wenn er formuliert, jeder Kommunikationsprozess beginne mit „[e]inem *Sender*, der eine Nachricht auf irgendeine Weise umformt, um ein für die Übertragung [...] geeignetes Signal zu erzeugen. [...] Der *Empfänger*“, so Shannon weiter, „führt normalerweise die dem Sender entgegengesetzte Operation aus, indem er die Nachricht aus dem Signal rekonstruiert.“²¹⁸ Damit aber resoniert die Nachrichtentheorie der Nachkriegszeit auffallend mit der Entkörperlichungstheorie Schleiermachers. Dessen „Mittheilung“ setzt lediglich voraus, daß der Angesprochene Laute und Lautfolgen als Realisationen derselben Zeichen und Zeichensequenzen identifizieren kann, als die sie vom Sprecher gemeint waren“²¹⁹, gleichsam meint der technische Begriff von ‚Nachricht‘ „eine Organisation verschiedener Zeichen, die verstanden werden, weil es einen Code gibt, der den Kommunizierenden bekannt ist“²²⁰. „Das Aussprechen der Worte“, heißt es ferner bei Schleiermacher, „bezieht sich bloß auf die Gegenwart eines andern, und ist insofern zufällig“²²¹, was sich wie ein Vorgriff auf einen der Hauptsätze der mathematischen Kommunikationstheorie liest, wonach nämlich „die jeweilige physikalische Realisierung der übertragenen Botschaft gegenüber akzidentell ist“²²².

Wenn nun aber das Signal die kontingente *physikalische Realisierung* der Nachricht ist, welchen phänomenologischen Status besitzt dann besagte Nachricht? In Shannons Primärtext findet sich keine explizite Definition dieses Begriffs, wohl aber in der auf ihn rekurrierenden Sekundärliteratur. Folgt man Lili E. Kay, so handelt es sich bei einer Nachricht um eine „Sequenz von Alternativen“²²³. Auf die Frage nun, wie man eine solche Sequenz am idealsten darstellt, legt bereits Shannons Text folgende Antwort nahe, die gleichzeitig den Bogen zum *Vorspann* dieser Arbeit schlägt: *symbolisch*, also als Schrift. Blicken wir hierfür zunächst auf die möglichen Erscheinungsformen einer Nachricht, die Shannon anführt:

²¹⁷ Dass die hier zitierte deutsche Ausgabe die ‚Störquelle‘ (*noise source*) in Shannons Diagramm fälschlicherweise ebenfalls ‚Nachricht‘ nennt (siehe ebd., 11), mag als symptomatische Ironie gewertet werden, da an diesem Begriff – so das Votum des vorliegenden Kapitels – tatsächlich alles an Shannons Zugang hängt, vergleicht man ihn mit demjenigen Wieners.

²¹⁸ Ebd., 12 – Hervorhebung i. O.

²¹⁹ Frank 1985, 177.

²²⁰ Sprenger 2012, 244.

²²¹ Schleiermacher ⁵1993, 77.

²²² Bitsch 2008, 371f. Die Begriffe ‚Botschaft‘ und ‚Nachricht‘ können in diesem Zusammenhang als synonym verstanden werden.

²²³ Kay 2001, 47.

(a) eine Folge von Buchstaben wie einem Telegraphie- oder Fernschreibsystem; (b) eine reine Funktion der Zeit $f(t)$ wie bei Radio oder Telefon; (c) eine Funktion der Zeit und anderer Variablen wie im Schwarzweiß-Fernsehen [...]; (d) zwei oder mehr Funktionen der Zeit, sagen wir $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$ [...]; (e) verschiedene Funktionen von verschiedenen Variablen – im Farbfernsehen besteht die Nachricht aus drei Funktionen $f(x, y, t)$, $g(x, y, t)$, $h(x, y, t)$, definiert in einem dreidimensionalen Kontinuum [...]; (f) es kommen auch verschiedene Kombinationen vor, z.B. ist das Fernsehen mit einem Hörfunkkanal gekoppelt.²²⁴

Die Pointe hierbei ist, dass es sich zwar einzig bei (a) um ein genuin *digitales* Zeichensystem handelt. Dennoch genügen auch „kontinuierliche Nachrichtenquellen“ erst dann vollständig den Anforderungen, die Shannons Kalkül an eine Nachrichtenquelle stellt, sobald sie „nach irgendeinem Quantisierungsprozeß in diskrete überführt worden sind“²²⁵. Der Clou von Shannons Theorie besteht mit anderen Worten darin, auch die genannten Nachrichtentypen (b) bis (f) äquivalent dem Typus (a) zu behandeln, was konkret bedeutet: als symbolisch notierbar.

Dass Shannons ‚Nachrichtenquelle‘ in der Sekundärliteratur in auffällender Häufigkeit pauschal ‚Alphabet‘ genannt wird,²²⁶ ist also keine unzulässige Verallgemeinerung, sondern verrät diesen tiefsitzenden Zusammenhang von *Nachricht* und *Schriftlichkeit*. Wenn es ferner heißt, „[i]n der Kommunikationstheorie müss[t]en Nachricht (*sagen wir ein geschriebener Satz*) und Signal (*sagen wir eine Morsesequenz*) getrennt identifizierbar sein“²²⁷, dann enthält die erste Parenthese weniger ein Exempel als vielmehr das theoretische Paradigma. Am Anfang steht also auch bei Shannon die Trennung der Syntax (*Nachricht*) von ihrem nunmehr zur reinen Kontingenz geronnenen materiellen Träger (*Signal*) – wie schon Schrift bei Schleiermacher und Gadamer als eine Abstreifung der ‚Mitteilung‘ von den körperlichen Anteilen der Dialogik definiert war. Dies ist der symbolistische Schritt, den Wiener, in dessen Arbeiten nicht nur das stetige, uncodierte Signal eines Phonographen,²²⁸ sondern sogar *Rauschen* als – wenn auch in diesem Fall ‚unerwünschte‘ – *Nachricht* bezeichnet wird,²²⁹ nicht gehen konnte. Während in Wieners Axiom „a desired ‚message‘ is [...] mixed with ‚noise‘“²³⁰ physikalisches (Wunsch-)Signal und Nachricht zu-

²²⁴ Shannon 1948/2000a, 11f.

²²⁵ Ebd., 17.

²²⁶ Vgl. Kay 2001, 47f.

²²⁷ M. Halle und K. N. Stevens aus „A Survey of the Communication Sciences“, hg. von Wiesner und Rosenblith, 10. Dezember 1959, Box 3.64, MC 72, Jakobson Papers, MIT, zit. nach Kay 2001, 393 – Hervorhebung M. W.

²²⁸ Siehe Wiener 1948/2002, 159.

²²⁹ Siehe ebd., 164.

²³⁰ NA-227-D7-GP, Box 4, Folder: Project 6, „Report on Visit to Prof. Wiener“, G. Stibitz, 28.10.1941, S.1 [H.A.R.], zit. nach Roch 2009, 204f., Anm. 71. So bezeichnete Wiener denn auch jene *physikalische* Proportion, die Shannon das „Signal-Rausch-Verhältnis“ (Shannon 1948/2000b, 224) nennt, als „Nachricht-Rausch-Problem[.]“ (Wiener 1948/1968, 93).

sammenfallen, findet sich bei Shannon eine unüberwindbare Kluft zwischen Realem und Symbolischem: „die Botschaft‘ ist nicht das, was von einem Signal programmiert und verschickt werden kann, sondern das, was von ihm kontrollierbar am Ziel ankommt“²³¹ – und im Unterschied zum Signal geschrieben werden kann. Deshalb schlägt der Einwand, dass Schrift auch nur ein kontingentes Medium unter vielen sei, fehl. So wie auch die *Turing-Maschine* mit ihrer Basisarchitektur aus Papier und Tinte gerade nicht impliziert, dass ihre Algorithmen auf Papierbasis operieren müssen, sondern dank ihrer formalen Befehlsstruktur in ganz unterschiedlicher Hardware realisiert werden kann,²³² erscheint Schriftlichkeit auch bei Shannon als das prototypische Abstraktionsmedium des Symbolischen.²³³

Der methodischen Pointierung halber tut es Not, die gegenwärtige *epistemologische* von einer strikt *historiographischen* Betrachtung zu unterscheiden. So begründet Axel Roch die weitgehende Offenlassung konkreter technischer Anwendungsfelder in Shannons Abhandlung mit einer sicherheitspolitisch bedingten Diskretionsforderung: „Shannon musste [...] den konkreten militärischen Kontext, den eigentlichen Auftrag aus dem Jahr 1945, die Genealogie und auch die Anwendungen seiner Theorien verschweigen.“²³⁴ Gleichwohl seien Röhren und Radar die Technologien, auf die besagte Theorien latent immer schon hinsteuerten.²³⁵ *Historiographisch* erscheint die Indifferenz der Shannon-

²³¹ Schüttpelz 2001, 191.

²³² „Die Turing-Maschine ist [...] ein virtueller Apparat, der von seiner materiellen Umsetzung unabhängig mit Informationen arbeitet, die – wie die Maschine selbst – als reine Formen ins Spiel kommen. Obwohl diese Konzeption in den vierziger Jahren für die Entwicklung elektronischer Rechenanlagen maßgeblich werden sollte, handelte es sich bei der Elektrotechnik um ein Medium, das gegenüber der Turing-Maschine vollkommen kontingent war: exakt dieselbe Maschine hätte sich in Form von der gänzlich mechanisch, aber digital arbeitenden ‚Analytischen Maschine‘ [*Analytical Engine*] verwirklichen lassen, die Charles Babbage im frühen 19. Jahrhundert erfunden (aber nie gebaut) hatte, oder als biochemisch bzw. elektrophysiologisch arbeitendes System von Neuronen, d.h. als Gehirn, oder als ‚Papiermaschine‘ bestehend aus einem Menschen, der ausgestattet ist mit einem Bleistift, einem Radiergummi, einem Stück kariertem Papier und einer Liste mit Instruktionen, die er genau befolgt.“ (Langlitz 2004, 112) Dass Turing sein Modell gleichwohl am Beispiel der letztgenannten Implementierung entwirft (siehe Turing 1936/2004, 75), bestätigt die hier behauptete Sonderrolle des Mediums Schrift innerhalb des Abstraktionsschrittes von ‚materieller Umsetzung‘ zur ‚Nachricht‘. Über die *Turing-Maschine* siehe vertiefend Kapitel 5.5.2 der vorliegenden Arbeit.

²³³ Wie stark dieses Symbolische mit dem Begriff Lacans, der selbst auf Shannons Informationstheorie Bezug nimmt (siehe Lacan 1991, 108f.), übereinstimmt, wird an jener subtilen und doch brisanten Zeichenerweiterung an der englischen Sprache deutlich, die Shannon in seiner *Mathematical Theory* vorschlägt: dem zwei Jahre später von ihm so genannten *Printed English* (siehe Shannon 1951). Dieses einzig auf Papier existente Englisch besteht nicht aus 26, sondern aus 27 Zeichen, da es „26 Buchstaben und einen Zwischenraum“ (Shannon 1948/2000a, 20) umfasst. Dies erinnert stark an Lacans Definition des Symbols als einer Anwesenheit durch Abwesenheit, mithin einer Positivierung des Nichts. Zum Einfluss von Shannons Theorie auf Lacan siehe auch Kittler/Berz/Hauptmann/Roch 2000, 333.

²³⁴ Roch 2009, 121. „[N]o specific reference to particular mechanisms“, so der Imperativ einer Anweisung aus dem Jahr 1947, die Roch anführt. (ATT-BL, Case 20878, Brief E. Griggs an R. Honaman, 14.3.1947, zit. ebd. – Hervorhebung i. O.)

²³⁵ Vgl. Roch 2009, 121f.

Theorie gegenüber der physikalischen Realisierung von Nachrichtensequenzen so als pure *Akzidenz* inmitten kontingenter Diskursregulierungen; *epistemologisch* dagegen ist sie – hierfür tritt der vorliegende Text ein –, gerade im Unterschied zu Wieners letztlich streng materialistischer Theorie, die irreduzible *Pointe*. Diese Affinität von Shannon zum schrifttheoretischen Entkörperlichungsparadigma ist allerdings nur die eine Seite, die seine Theorie statt in die Nähe des Lebens vielmehr in die Nähe des Todes rückt; es herrscht vielmehr auch eine mathematische Analogie. Information nach Shannon ist nämlich – im Unterschied zu Wiener – Entropie mit einem *positiven* Vorzeichen.

5.2. Information als *positive Entropie*: Korrektur einer notorischen Fehllektüre

Dieser Vorzeichenwechsel, den es im Folgenden als fundamental herauszustellen gilt, wird von unglücklichen Amalgamierungen wie der „Wiener-Shannon-Theorie“²³⁶ verkannt; und gerade innerhalb der Medienwissenschaft hält sich mit eklatanter Nachhaltigkeit ein mathematisches Missverständnis. So sind Fehllektüren, die Shannons Definition von Information als *positiver* Entropie mit Wieners Informationsmenge als *negativer* Entropie verwechseln, mittlerweile Legion. Friedrich Kittler: „Auch und gerade wenn Shannons Formel [...] *bis aufs umstrittene Vorzeichen* mit Boltzmanns energetischer Formel für Entropie identisch ist, entspringt die Möglichkeit von Information nicht physikalischer Notwendigkeit, [...] sondern der Chance.“²³⁷ Claus Pias: „Information ist, in ihrer mathematischen Formel ausgedrückt, schlicht *Entropie mit einem Minuszeichen davor*.“²³⁸ Bernhard Siegert: „Tatsächlich könnte man meinen, Claude Shannons *Mathematical Theory of Communication* [...] habe mit ihrer Definition der Information als *Entropie mit negativem Vorzeichen* Maxwells Dämon zum Gott der technischen Medien erhoben.“²³⁹ Matteo

²³⁶ Kay 2001, 178.

²³⁷ Kittler 1993d, 164 – Hervorhebung M. W. Dieses Missverständnis überrascht in zweifacher Hinsicht. Erstens handelt es sich – wie aufgezeigt – bei Boltzmanns Formel um keine *energetische*, sondern um eine *statistische*, sodass sich „physikalische Notwendigkeiten“ schon dort durch einen reinen Wahrscheinlichkeitskalkül abgelöst finden. Zweitens unternimmt der Primärtext, mit dem Kittler seinen Befund zu belegen vorgibt (siehe ebd., Anm. 11), eine genau gegenteilige, nämlich korrekte Formelanatomie: „It is [...] rather disturbing to find that in a paper which is one of the major works of information theory for communication engineering, Shannon appears to equate information to entropy *without the negation sign*.“ (Bell 1962, 35 – Hervorhebung i. O.)

²³⁸ Pias 2003, § 66 – Hervorhebung M. W. Diese Definition ist natürlich nicht *per se* falsch – wohl aber im Rahmen eines Textes, der bereits im Abstract definiert, „der fundamentale Unterschied zwischen digitalen und analogen Bildern [sei], dass digitale Bilder Information haben“ (ebd., unpaginiert), was so lediglich mit Shannons Informationsbegriff behauptet werden kann. Dass, hiervon unabhängig, die Definition von Information als Entropie mit negativem Vorzeichen alles andere als „schlicht“ (Pias) ist, hat die vorliegende Arbeit im Zusammenhang mit Wiener deutlich zu machen versucht.

²³⁹ Siegert 2008, 283 – zweite Hervorhebung M. W. Hier sind die Folgen der Verwechslung zwischen Wieners und Shannons Informationsbegriff besonders verheerend. Erstens wird durch den Hinweis auf den *Maxwell'schen Dämon* ein Scheinparadox konstruiert, da besagtes Gedankenexperiment auf Shannons Theorie

Pasquinelli: „In quantitative terms Shannon decided to measure the quality of communication as a negative value against the background noise of a given channel. [...] Information was described then as a sort of ‚negative entropy‘.“²⁴⁰

Aufgrund dieser verworrenen Rezeptionslage²⁴¹ sei an dieser Stelle eine etwas ausführlichere Anatomie von Shannons Formel²⁴²

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i * \log_2 p_i \quad (5.I)$$

geboten. Was bei Boltzmann mit dem Formelzeichen S notiert war, erhält bei Shannon den Buchstaben H . Dass vor dem Term rechts des Gleichheitszeichens ein Minuszeichen steht, hat einzig damit zu tun, dass Shannons p_i wie schon Schrödingers $\frac{1}{D}$ der Kehrwert dessen ist, was bei Boltzmann die Komplexionszahl P hieß; und weil der Logarithmus einer Zahl kleiner 1 immer negativ ist, folgt aus dem Minuszeichen, dass sich am Ende der Berechnung, als Resultat einer doppelten Negation, eben doch ein *positiver* Entropiewert ergibt. Das Summenzeichen wird für den Fall benötigt, dass *Teilwahrscheinlichkeiten* innerhalb des Zeichenensembles vorliegen. Selbst diese Gewichtung ist jedoch kein fundamentaler Unterschied zur physikalischen Entropie, sondern findet sich bereits in der sogenannten *statistischen Entropie* nach Gibbs, dort in Bezug auf Partialvolumina unterschiedlicher Größe.²⁴³

Die gravierende Differenz zu Boltzmanns Formel äußert sich vielmehr in einem Fehlen, einem Fehlen im *Dazwischen* von Minus- und Summenzeichen. Wie in Vorwegnahme

kaum applizierbar ist, eben weil die Entropiesenkung signalisierende Negation hier *fehlt*. Zweitens fügt Siebert qua Fußnote ironischerweise die korrekte Formel Shannons als Nachweis ein (siehe ebd., Anm. 35), exponiert also unfreiwillig seinen eigenen, genuin *mathematischen* Lektürefehler.

²⁴⁰ Pasquinelli 2010, 2 – Hervorhebung M. W. Dieser Passus ist terminologisch so falsch wie die drei zuvor genannten, verfügt allerdings sachlich über einen gewissen Wahrheitswert. Wo Shannons Theorie Maßnahmen vorsieht, drohendes Rauschen vom schützenswerten Signal fernzuhalten (über die Maximierung des *Signal-Rausch-Abstandes*), verbindet sie dies am Stärksten mit der Theorie Wieners, der seinen Begriff der negativen Entropie explizit auf Ordnungserhöhungen innerhalb der Signalübertragung anwendet. Da bei Shannon der Informationsbegriff jedoch ausdrücklich als positive Entropie definiert ist und zudem in Bezug auf Nachrichten, nicht auf Signale fällt, ist die Rede von ‚negativer Entropie‘ auch hier unannehmbar.

²⁴¹ Dass eine der prägnantesten nicht-mathematischen Abhandlungen über die verschiedenen Informationsbegriffe, die dem Autor dieser Arbeit bekannt ist, nicht etwa der Medienwissenschaft, sondern ausgerechnet einer Online-Datenbank „für außergewöhnliches Wissen in der Ganzheitsmedizin und den Grenzgebieten der Wissenschaft“ entstammt (siehe Held o. J.), spricht mit Blick auf die beinahe kanonischen Fehlleistungen innerhalb der ‚offiziellen‘ Wissenschaft eine geradezu entlarvende Sprache.

²⁴² Shannon 1948/2000a, 26.

²⁴³ Gibbs' Formel lautet $H = -k * \sum_{i=1}^n p_i * \ln p_i$. Zu den formalen Eigenschaften dieses Ausdrucks sowie seiner weitestgehenden Deckungsgleichheit mit dem Shannon-Maß siehe Zucker 1974, 39f. sowie Marriage 2000, 3.

von Shannons *Printed English*, mit dessen Ausdehnung des Symbolvorrats um ein Leerzeichen der typographischen Leerstelle zu eigenem Recht verholten wurde,²⁴⁴ liegt die Pointe auch hier in einer Abwesenheit – nämlich in der Abwesenheit der Boltzmann-Konstante

$$k = 1,380655 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}. \quad (3.IV)$$

Dies ist der ganze und doch in seiner epistemologischen Brisanz nicht zu gering veranschlagbare Bruch, der zwischen den Entropien Boltzmanns und Shannons steht. Wo die Boltzmann-Formel schon durch ihre Naturkonstante eindeutig auf Raum und Zeit bezogen blieb – auf ‚Raum‘ im Sinne des physikalischen *Phasenraums* und auf ‚Zeit‘ im Sinne des *Zweiten Hauptsatzes* –, verkündet Shannons Gleichung schon formal die Loslösung des Kalküls von jeglichem Bezug auf Materialität. Der Shannon'sche Informationsbegriff ist mathematisch also *nicht* ‚Entropie mit einem Minuszeichen davor‘, sondern die physikalische Entropie unter Ausklammerung der Naturkonstante.²⁴⁵

Durch den Logarithmus zur Basis 2 kann Shannons Informationsmaß schließlich, der *epistemischen* Lesart von Entropie folgend, als die durchschnittliche Anzahl an Ja/Nein-Fragen definiert werden, die gestellt werden müssen, um ein Symbol innerhalb eines Nachrichtenvorrats oder Alphabets zu ‚erraten‘.²⁴⁶ Shannon selbst spricht von einem Maß für „Information, Wahlfreiheit und Unsicherheit“.²⁴⁷ Gleichmaßen ließe sich formulieren, dass seine Entropie, um einen Begriff aus dem Grundlagenkapitel 3.1 der vorliegenden Arbeit zu benutzen, den *Spielraum* innerhalb einer Nachrichtenquelle angibt. Der Unterschied zu Boltzmann liegt also nicht in der Mathematik, sondern auf der Phänomenebene, die es zu berechnen gilt: Bei Boltzmann ist es der Ordnungsgrad materiel-

²⁴⁴ Vgl. Anm. 233.

²⁴⁵ Diese Minimaldiskrepanz wird nicht erst im Vergleich von Shannons Term mit der Gibbs-Entropie (siehe Anm. 243) deutlich, vielmehr findet sie sich – wenn auch nicht ausgeschrieben – bereits bei Shannon angelegt. Für den Fall der Gleichwahrscheinlichkeit innerhalb einer Nachrichtenquelle nämlich könne „jegliche monotone Funktion dieser Anzahl als ein Maß der Information angesehen werden, die erzeugt wird, wenn eine Nachricht aus dem Vorrat ausgewählt wird“; an Stelle des Kehrwerts p_i tritt somit der ganzzahlige Wert. „[D]ie natürlichste Wahl [sei] die logarithmische Funktion“ (Shannon 1948/2000a, 9). Dies entspricht – eben bis auf die Naturkonstante – der Boltzmann-Entropie. Eine ähnliche Formel innerhalb der Kommunikationstheorie stellte bereits Harry Nyquist mit seinem Ausdruck $W = k \cdot \log m$ auf, wobei W die Geschwindigkeit der Übertragung einer Nachricht – Nyquist sprach von „intelligence“ – angibt und m die Anzahl von übertragbaren Stromwerten (siehe Nyquist 1924, 333). Shannons ‚Entropie‘ darf als Generalisierung dieses Kalküls gelten. Für eine ‚Archäologie‘ von dessen Formel siehe auch Kay 2001, 139-141.

²⁴⁶ Vgl. Weaver 1949/1976, 18-23; Audretsch 2007, 96.

²⁴⁷ Shannon 1948/2000a, 26. Vollkommen fehlt daher die Deutung, „Shannons Maßzahl 1“ sei der „Bereich der höchsten Informationsstufe“ (Bitsch 2001, 272), denn niedriger als ein *bit* kann dessen Entropie in der Praxis nicht sein.

ler Systeme, also Wahrscheinlichkeit im Realen, bei Shannon ist es der Ordnungsgrad von Nachrichten, also Wahrscheinlichkeit im Symbolischen.

In der *statistischen Mechanik* stand dieses Symbolische ganz am Ende, also auf dem Papier. Zwar operiert letztlich jede geschriebene Formel im terminologischen Horizont dieser Arbeit auf Seiten des materievertilgenden *Todes* im Sinne einer Dematerialisierung. Bei Shannon jedoch findet sich dieser Tod, mit einem Begriffspaar Lacans/Kittlers gesprochen, nicht erst auf der formalen Ebene der Äußerung (*énonciation*), sondern bereits auf der referenziellen Ebene des Geäußerten (*énoncé*).²⁴⁸ Symbole sind nun nicht mehr bloß das Mittel, um Berechnungen anzustellen, sondern nunmehr Gegenstand der Berechnungen selbst. Auch wenn die digitale Informationsverarbeitung darauf aufbaut, den kritischen Wert dieser Wahrscheinlichkeiten, das *bit*, wiederum in realen Schaltern zu implementieren,²⁴⁹ beruht – wie sich zeigen wird – ihr ganzer Clou auf besagter Abstraktionsleistung.

5.3. Shannon, Wiener und die Frage nach dem Digitalen

Norbert Wiener entwickelte seine Bestimmung von Information als *negativer* Entropie – im Sinne der epistemischen Lesart – ausdrücklich am Beispiel von Wissenserwerb und Kontingenzreduktion in Folge von Messvorgängen. Inwieweit ist diese kybernetische Theorie, wenn überhaupt, auf digitale Technologien anwendbar? Sehr eingeschränkt, da mit Wiener allenfalls der Vorgang der Abtastung, also der *Digitalisierung* zu erfassen wäre, der freilich ein diesem Prozess vorgängiges Kontinuum erfordert. So kann etwa die raumzeitliche Abtastung (*spatial* respektive *temporal sampling*) kontinuierlicher Lichtverteilungen mittels einer handelsüblichen Digitalkamera als Messvorgang bezeichnet werden. Auf dem dort installierten CCD-Chip entspricht dem Aufnahmeprozess „[das] Auslösen eines Ladevorgangs und die Messung der elektrischen Ladung nach einer vorgegebenen Belichtungszeit [...]“²⁵⁰. Damit ein Computer mit diesen Messungen umgehen kann, „müssen diese abschließend auf eine endliche Menge von Zahlenwerten abgebildet werden“²⁵¹; die daraus entstehende zweidimensionale Matrix ließe sich – wenngleich nicht

²⁴⁸ Vgl. zu dieser Terminologie Kittler 1979, 196.

²⁴⁹ Dieser auf dem Binärprinzip fußenden Computerarchitektur stand Wiener zunächst so skeptisch gegenüber, dass er einer Anekdote zufolge „Shannons Vorschlag, die Entwicklung neuer Rechenmaschinen auf die On/Off-Logik seiner Schaltalgebra zu gründen, rundheraus für verrückt erklärt“ (Dotzler 2002, 5) hatte, um ihn dann im Jahr 1958 plötzlich für seine eigene Arbeit zu reklamieren. Siehe Wiener 1958/2002, 228.

²⁵⁰ Burger/Burge ²2006, 9.

²⁵¹ Ebd., 10.

ohne Probleme, da der entropiesenkende Messprozess hier bereits abgeschlossen ist – mit Wiener als *negativ entropisch* bezeichnen, da sie einer kontrollierten Interzeption des aus makroskopischer Sicht unüberschaubaren Gewirrs von Lichtquanten entsprungen ist. Allein, das Symbolische kommt hier erst in der Verzifferung besagter Messungen in Anschlag, also der *Analog-Digital-Wandlung*. Texturen hingegen, die mit einem zeitgenössischen Begriff als „born digital“²⁵² bezeichnet werden können – also zuallererst: geschriebene Texte –, fallen von vornherein aus dem Zuständigkeitsbereich von Wieners Theorie.

Diese Einschränkung wird von einer ansonsten sehr plausiblen Heuristik, wie sie die Physik zur Differenzierung zwischen Information als *negativer* und *positiver* Entropie hervorgebracht hat, verdeckt. So hat Carl Friedrich von Weizsäcker den bislang tragfähigsten Vorschlag gemacht, wie dem Widerstreit zwischen den rivalisierenden Informationsbegriffen beigegeben werden kann, indem er zwischen *potentieller* und *aktualer* Information unterschied. Je komplexer, dichter, variantenreicher demnach eine Verteilung ist, mit anderen Worten, je größer ihr Entropiewert, umso größer ist ihre potentielle Information. Dies entspricht dem Informationsbegriff Shannons. Sobald eine aktuelle Information (also etwa die Messung eines physikalischen Systems oder das Wissen um den Wert einer Spielkarte) gewonnen wurde, umso kleiner wird diese potentielle Information, der Prozess ist also *negativ entropisch*.²⁵³ Der Unterschied zwischen Shannons und Wieners Informationsbegriffen wäre demnach jener zwischen einem *apriorischen* und dem *aposteriorischen* Wissen um eine Verteilung.

So groß der heuristische Wert von Weizsäckers Unterscheidung auch ist, mit Blick auf die eklatant verschiedenen Epistemologien hinter den zwei Informationsbegriffen tut es im gegenwärtigen Rahmen Not, die Unterschiede zwischen Wiener und Shannon zu betonen anstatt beide Theorien miteinander zu versöhnen. Wiener in Shannon aufgehen zu lassen oder umgekehrt, setzte den anti-materialistischen Impetus des ersteren (seinen Eigenaussagen zum Trotz) in einem ähnlichen Maße zu hoch an, wie es die symbolistische Radikalität des letzteren unterschätzte. Mit Wiener von Information zu sprechen, setzt voraus, sie als *Messung* von etwas oder immerhin als Beseitigung von Unwissen zu be-

²⁵² Manovich 2013, 128.

²⁵³ Vgl. Weizsäcker 1972, 504f. Siehe auch Francis J. Zucker in Bezug auf Brillouin, der im Wesentlichen mit demselben Informationsbegriff arbeitet wie Wiener: „Brillouin macht seinen Informationsbegriff nicht an der Ungewißheit, am *erwarteten* Ereignis fest, sondern am *vollzogenen*.“ (Zucker 1974, 63 – Hervorhebung M. W.)

trachten.²⁵⁴ Während dies, wie oben aufgezeigt, im Falle eines CCD-Chips vollkommen zutreffend ist, muss man nicht erst den referenzlosen Symbolismus in *Computer Generated Images* ins Spiel bringen, um die Grenzen dieses rein reaktiven Informationsbegriffes zu erkennen. Vielmehr stellt sich das Problem bereits im Medium Schrift. Während Shannon seinen Kalkül etwa zum Vergleich von C. K. Ogdens ‚hoch-redundantem‘, also niedrig-entropischem *Basic English* und James Joyce' hoch-entropischem *Finnegan's Wake* heranzog,²⁵⁵ stürzte Wiener die Frage, wovon literarische Texte denn eine Messung darstellen sollen, unweigerlich in Verlegenheit – sodass er im Unterschied zu Shannon von einem syntaktischen in ein unverhohlen semantisches Erklärungsschema umschalten musste: „Je wahrscheinlicher die Nachricht, umso weniger Information vermittelt sie. Klischees zum Beispiel sind weniger erleuchtend als große Gedichte.“²⁵⁶ Wo der Informationsgehalt eines Gedichtes – anders als die Buchstabenhäufigkeiten, um denen es Shannons Kalkül geht –, nicht errechnet werden kann, sondern als literarische Qualität begriffen werden muss, tritt ästhetisches Urteil an die Stelle von Mathematik.

Dagegen setzt Shannons *Information* immer schon bei digitalem Material an, gleichwohl unter Rückgriff auf den Boltzmann-Kalkül, weshalb sie in der Physik ganz zu

²⁵⁴ Lily E. Kay weist auf einen Brief hin, in dem Shannon gegenüber Wiener diese fundamentale Diskrepanz selbst zu gering veranschlagt: „Ich betrachte“, so Shannon zunächst, „wieviel Information *erzeugt* wird, wenn eine Auswahl aus einer Menge getroffen wird – je größer die Menge, desto *mehr* Information.“ Der Begriff der *Menge* indiziert es: Der Informationsgehalt ist im Shannon'schen Fall vollkommen ohne Einbezug eines Empfängers, sondern einzig aus dem manifesten Symbolvorrat selbst zu bestimmen. „Sie“, fasst Shannon daraufhin Wieners Ansatz zusammen, „betrachten die größere Unsicherheit im Falle einer größeren Menge, woraus sich eine geringere Kenntnis der Situation und demnach *weniger* Information ergibt. Der unterschiedliche Gesichtspunkt ist teilweise ein mathematisches Wortspiel. Wir würden die gleichen numerischen Ergebnisse bei jeder speziellen Fragestellung erhalten.“ (Shannon an Wiener, 13. Oktober 1948, Box 2.85, MC22, Wiener Papers, MIT, zit. nach Kay 2001, 137 – Hervorhebung i. O.) Hier aber irrt Shannon, da dies nur bei solchen Fragestellungen gilt, die explizit einen Empfänger, also im Falle der Textlektüre einen Leser, in die Beobachtung miteinbeziehen, dessen Unwissen im Laufe der Lektüre sukzessive, eben *negativ entropisch*, abnimmt – *isomorph* zum *Zweiten Hauptsatz*. Mit Shannon dagegen ist der immanente Zeichenvorrat eines Buches ohne solch eine Dyadik numerisch erfassbar; sein Kalkül ließe sich daher als ‚monadisch‘ bezeichnen (vgl. zu dieser Begrifflichkeit Peirce 1940/1955, 80-91). Kay nennt die Gleichheit in den numerischen Ergebnissen denn auch zwar „möglich“, betont aber den *epistemologischen* „grundsätzlichen Unterschied“, den das von Shannon so genannte „Wortspiel“ deutlich mache: „Shannon stellte Phänomene positiv dar, während Wiener ihren negativen Raum aufspürte“ (Kay 2001, 137) – ein Raum, so die hiesige Ergänzung, der in seiner fortwährenden *Entropieänderung* strukturanalog zum physikalischen Phasenraum aufgebaut ist. Diese Zeitstruktur wird zumal deutlich, wenn wir, analog zur physikalischen Terminologie, die noch unbekannten Symbole als *Makro-* und ein empfangenes Symbol als gewussten *Mikrozustand* bezeichnen. Dann nämlich gilt: „Während [...] ein Mikrozustand, der als einer der vielen möglichen im Ensemble verstanden wird, das heißt potentiell bleibt, sehr wohl einen Makrozustand repräsentiert, gelingt seine Aktualisierung, Verwirklichung nur um den Preis der Zerstörung des Makrozustands.“ (Zucker 1974, 69) Dies deckt sich mit der in Kapitel 4.3, Anm. 210 dieser Arbeit hergeleiteten *Irreversibilität* des Wissenserwerbs bei Wiener.

²⁵⁵ Shannon 1948/2000a, 33.

²⁵⁶ Wiener 1950/1989, 21 – Übersetzung M. W.

Recht auch als „Informationsentropie“²⁵⁷ bezeichnet wird. „Er [Shannon] hat also, das war seine genuine Methode, statistische Methoden der Physik in mathematische Methoden der Kryptografie und Kommunikation übersetzt.“²⁵⁸ Das aber heißt, dem Unterschied auf der Referenzebene zum Trotz, dass seine Formel eine *formale Vergleichbarkeit* zwischen Symbolischem und Realem herstellt. Hierdurch kann eine Nachrichtenquelle mit derselben Mathematik beschrieben werden, wie es die statistische Mechanik etwa mit einem Gasgemisch tut. Übertragen wir Weizsäckers Begriffe der potentiellen und aktuellen Information auf ein ebensolches Gemisch, lässt sich formulieren, „daß die Ungewißheit (das heißt die potentielle Information) über den Ort eines Moleküls um ein bit sinkt, wenn sein Freiraum halbiert wird“. Und weiter: „Diese Veränderung in der Ungewißheit ist keine ‚bloß-subjektive‘, sie hat in der Zellstruktur ihr objektives Korrelat, das eine faktische Ausstrukturierung des Mikrosystems darstellt.“²⁵⁹ Ebenso nimmt die Entropie innerhalb eines Symbolensembles ab, sobald ein Symbol aus dem Ensemble entfernt und dadurch der Spielraum der Nachrichtenquelle beschnitten wird.²⁶⁰

Der reaktive, da Umweltinteraktion respektive Rückkopplung voraussetzende und mithin der Schrödinger'schen Theorie *offener* Systeme nahestehende Informationskalkül Wieners weicht so einer auf endliche Zeichenmengen applizierten Statistik, die an der Boltzmann'schen Beschreibung *abgeschlossener* physikalischer Systeme Maß nimmt. Wieners ‚Information‘ existiert niemals *absolut*, sondern immer nur *relativ* als Gefälle zwischen *zwei* Entropiewerten, ist mithin ohne den Parameter ‚Zeit‘ gar nicht zu denken. Shannons Kalkül ist dagegen die Formalisierung einer *Autonomie des Symbolischen*, ein Verfahren der Quantifizierung von Zeichenketten in ihrem eigenen, von dyadischen Reiz-/Reaktions-Ketten entkoppelten Recht. John von Neumanns radikaler Kommentar, die *mathematische Theorie der Kommunikation* sei „the thing that Wiener should have done,

²⁵⁷ Lange ²1962, 177.

²⁵⁸ Roch 2009, 115.

²⁵⁹ Zucker 1974, 69.

²⁶⁰ Auch Versuche, eine Vorzeichendifferenz zwischen Boltzmann- und Shannon-Entropie damit zu rechtfertigen, dass, „während [...] bei der thermodynamischen Entropie die Wahrscheinlichkeit zunimmt, je größer die Klasse gleichwahrscheinlicher Zustände ist, [...] bei der Information gerade die Unwahrscheinlichkeit zu[nimmt]“ (Bitsch 2010, unpaginiert), irren. Denn: Je größer die Klasse gleichwahrscheinlicher Zustände bei der Boltzmann-Entropie, umso *unwahrscheinlicher* wird es auch dort, ein Molekül innerhalb eines Volumenelementes zu erraten. Der Begriff des ‚Wahrscheinlichen‘ bei Boltzmann bezieht sich auf die Probabilität einer Verteilung im Laufe der Zeit – eine Ebene, die aus Shannons Theorie (wie sich zeigen wird: notwendigerweise) herausfällt. Geht es freilich um das binäre Erfragen von Elementen (von Molekülen respektive Symbolen) und bildet man im Boltzmann-Kalkül den Logarithmus von *P* zur Basis 2, lässt sich jede physikalische Verteilung formal äquivalent zum Wahrscheinlichkeitsbegriff Shannons betrachten.

but did not do“²⁶¹ – wie zu ergänzen wäre: ...hätte tun sollen, um mit seiner ‚weder Stoff noch Energie‘-Definition tatsächlich ernst zu machen –, scheint daher berechtigt.²⁶² Zwar verbindet Shannon mit Wiener eine ebenfalls *epistemische* Lesart des Entropiebegriffs, zwar ist die Nachrichtenübertragung ihrerseits ein dynamischer, *stochastischer*²⁶³ Prozess zwischen zwei Punkten namens Sender und Empfänger. Und doch erklärt Shannons Schwenk auf *Unwissen* oder *potentielles* Wissen, das aus der Codetextur selbst errechnet werden kann – denn sonst würde die Rede von ‚Unwissen‘ keinen Sinn ergeben –, ‚Information‘ von einer *subjektivistischen* oder gar *mentalistischen* wieder zu einer vollends objektiven Wesenheit. Der Begriff „Datenmenge“²⁶⁴, der ebenfalls synonym zur Informationsentropie verwendet wird, ist daher sinnvoll, indem er dieses eminent Positive, Objektive hinter dem Shannon-Maß zum Ausdruck bringt.

Wenn nun aber digitale Codes durch „das gleiche Berechnungsverfahren“²⁶⁵ erfasst werden können wie physikalische Systeme, dann darf auch im Digitalen nach Entsprechungen dazu gesucht werden, was in der Physik als ‚Tod‘ definiert war – nämlich *konstant bleibende* Entropie.

²⁶¹ Hagemeyer, Friedrich W. (1977): Interview with Bernard M. Oliver. Nicht publiziert, 28.2./12.3.1977, 35ff, zit. nach Roch 2009, 161.

²⁶² So lässt D. A. Bell die nachrichtentheoretische Abstraktion von den materiellen Eigenschaften der Kommunikation wie auch von jeglicher Semantik explizit – und in sehr illustrativen Worten – erst mit der Arbeit Shannons anheben: „The situation in communications before Shannon's work was that attention was mainly focused on waveforms of current or voltage [...], and the informativeness of the message was not questioned. In fact the communication engineer tended to consider it his task to reconstruct the message at the receiving end in as nearly as possible the same form as that in which it was presented at the transmitting end; but we can now seek to communicate the information rather than the literal message.“ (Bell ³1962, 2 – Hervorhebung i. O.) Dieser Paradigmenwechsel hat zur Folge, dass Bell noch im selben Absatz auf ein genuin *zeichentheoretisches* Argument zurückgreift: „The distinction between the information and the physical medium may be well illustrated by writing with a piece of chalk the word CHEESE on a blackboard. Everyone knows the difference between chalk and cheese, but who dare say whether the writer has put chalk or cheese on the blackboard?“ (Ebd.) Die ‚Information‘, so Bell weiter, sei nicht auf der semantischen Ebene des Begriffes ‚Kreide‘ zu verorten, sondern auf ‚Kreide‘ als „a word of five letters, C-H-A-L-K“ (ebd.). Auf dieser Ebene setzt auch Shannons Entropiekalkül an, wohingegen Wiens Definition von Information als negativer Entropie in besagtem Beispiel nicht einmal auf der physikalischen Ebene annehmbar ist, denn aufgetragene Kreide erhöht die Entropie des physikalischen Systems ‚Tafel‘. Im unbeschriebenen Fall umfasst die Komplexionszahl *P* nur das Volumen der Tafel, die Verwendung von Kreide fügt diesem jedoch weitere Partikel hinzu und erhöht damit die Zahl *P*. Bereits hier zeigt sich, wie schnell Wiens Theorie an ihre Grenzen stößt, sobald sie auf symbolische oder digitale Inskriptionen anzuwenden versucht wird. Siehe dazu auch Kap. 5.5.2, Anm. 381 der vorliegenden Arbeit.

²⁶³ Siehe Shannon 1948/2000a, 16.

²⁶⁴ Herrmann 2004, 46.

²⁶⁵ Lange ³1962, 16.

5.4. $\Delta H=0$. Zeitlosigkeit als Signum des digitalen Codes

5.4.1. *Code-Stabilität*: Zum zeitphilosophischen Paradox der verlustfreien Kopie

*Das größere Wunder der Sprache
liegt nicht darin, daß das Wort Fleisch wird
und im äußeren Sein heraustritt,
sondern daß das, was so heraustritt [...],
immer schon Wort ist.*²⁶⁶

HANS-GEORG GADAMER

Die Hauptsätze der Thermodynamik sind keine Naturgesetze, sondern Erfahrungssätze. Sie „werden als reine Erfahrungstatsachen hingenommen, die nicht näher untersucht werden. Sie sind nicht dadurch beweisbar, daß man sie auf andere Sätze zurückführt.“²⁶⁷ An der Empirie mit Dampfmaschinen entwickelt, wurde der *Zweite Hauptsatz* durch Boltzmann in ein Wahrscheinlichkeitsgesetz umgedeutet, was heißt: Abweichungen von ihm sind zwar denkbar unwahrscheinlich, im Sinne der *statistischen Mechanik* jedoch ausdrücklich möglich. Dies aber gibt der vorliegenden Arbeit die Legitimation, anhand einer Empirie, die nicht mehr auf die Natur, sondern auf digitale Codes gerichtet ist und doch mit derselben Mathematik operiert, genuine Zeitweisen eben dieses Codes auf den mathematischen Formalismus einer Gesetzmäßigkeit zu bringen, die nicht dem *Zweiten Hauptsatz* gehorchen muss. Was ansteht, ist mithin die Einlösung jenes Versprechens, welches der Ulmer Physiker Peter Hägele am Ende folgender Klarstellung ausruft:

In der thermodynamischen Entropie sind die p_i Wahrscheinlichkeiten von Mikrozuständen, genauer: Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Energiezustände eines materiellen Systems. Bei der Informationsentropie bedeuten diese p_i dagegen die Eintrittswahrscheinlichkeiten beliebiger, inhaltlich nicht spezifizierter Ereignisse. Soweit diese Ereignisse nicht den mechanischen Grundgesetzen gehorchen, braucht die Informationsentropie auch nicht dem 2. Hauptsatz zu genügen!²⁶⁸

Alle folgenden Beispiele sollen nun darauf abzielen, das Grundgesetz digitaler Codes auf die formalen Eigenschaften des physikalischen *Stillstandes* abzubilden.

Ein erstes Beispiel aus der langen Phase symbolischer Datenspeicherung *vor* Einführung des Computers ist die Reproduktion hand- oder maschinenschriftlich generierter Texte, also die Übertragung von Symbolkonfigurationen von einem papiernen Speichermedium in ein anderes. Um zu beschreiben, auf welchem Wege hier die Nachricht ihren Träger wechselt, eignet sich nicht die thermodynamische, dafür aber die Entropie nach

²⁶⁶ Gadamer ⁶1990, 424.

²⁶⁷ Cerbe/Hoffmann ⁹1990, 55.

²⁶⁸ Hägele 2004, 5.

Shannon; und sofern man Fehler beim handschriftlichen Übertragen ausschließt, bleibt diese *konstant*. Dies beruht, wie Shannons Theorie selbst, auf der apriorischen Trennung von Symbolischem (Buchstabenensembles) und Realem (Papier), was diese Form der Datenreproduktion von beispielsweise einem elektromagnetisch operierenden Medium wie der Videokassette fundamental trennt. Auch dort lassen sich Speicherinhalte kopieren, indem man das Signal des einen als Input für einen angeschlossenen zweiten Videorekorder verwendet. Im Unterschied jedoch zu handschriftlicher Transkription oder Buchdruck ist diese Vervielfältigung unweigerlich verbunden mit einer Entropiesteigerung: Die elektromagnetischen Teilchen auf Videokassette #2 (*Kopie*) würden, was sich auf Ebene des ausgegebenen Fernsehbildes etwa in einem Verlust von Schärfe niederschläge, einen niedrigeren Organisationsgrad aufweisen als jene auf Videokassette #1 (*Original*).²⁶⁹ Diese Struktur ließe sich *ad infinitum* weiterspinnen, indem man von der Kopie eine weitere Kopie erstellen, von besagter Kopie wiederum die elektromagnetische Spur als Input für eine andere Aufnahme verwenden würde usw.: Immer würde sich die Organisationsstruktur der Teilchen verändern, und zwar stets in Richtung einer Erhöhung der Entropie. Vermeiden ließe sich dies allenfalls durch Platzierung eines *Maxwell'schen Dämons* am Schreibkopf des Videorekorders, was jedoch – wie bereits angesprochen – spätestens vom quantenmechanischen Nachweis der invasiven mikroskopischen Messung in den Bereich der Wissenschaftsfiktion verwiesen wurde.

Dagegen hat etwa Franz Kafkas Autograph seines Eigennamens (*Abb. 3*) mit Shannons Kalkül folgende Informationsentropie, die sich aus der Gewichtung der fünf in unterschiedlicher Häufigkeit auftretenden Buchstaben errechnet:

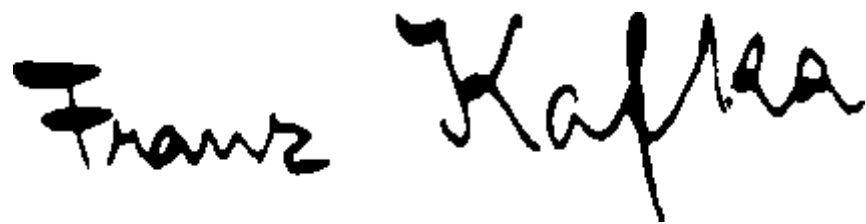


Abb. 3

$$H_1 = -\frac{3}{10} * \log_2 \frac{1}{10} - \frac{2}{5} * \log_2 \frac{1}{5} - \frac{3}{10} * \log_2 \frac{3}{10} \approx 2,446 \text{ bit} \quad (5.II)$$

²⁶⁹ Gewiss ist eine Teilchen um Teilchen identische Kopie auch bei VHS-Kassetten nicht *unmöglich*. Da jedoch der *Zweite Hauptsatz* auch für elektromagnetische Systeme gilt (siehe Schneider/Kay 1995/1997, 185), ist verlustfreie Reproduzierbarkeit hier als gleich *unwahrscheinlich* anzusehen wie die vollständige Reversibilität von thermodynamischen Prozessen.

Derselbe Wert ergibt sich jedoch auch für den Fall, dass Kafkas Signatur in Blockschrift übersetzt wurde:

Franz Kafka

$$H_2 = -\frac{3}{10} * \log_2 \frac{1}{10} - \frac{2}{5} * \log_2 \frac{1}{5} - \frac{3}{10} * \log_2 \frac{3}{10} \approx 2,446 \text{ bit} \quad (5.III)$$

In beiden Fällen kommt nicht die materielle Ausformung der Typen, sondern lediglich deren Differenzialität zum Tragen, auf deren Grundlage der Wahrscheinlichkeitskalkül ausgeführt wird. Ihre Information bleibt über den Kopierprozess hinweg konstant, so dass hier gilt:

$$\Delta H = 0 \quad (5.IV)$$

Dies sei als formaler Ausdruck dafür vorgeschlagen, was im Kontext digitaler Technologien gemeinhin *verlustfreie Kopie* genannt wird.²⁷⁰ Gänzlich zur numerischen Repräsentation geronnen, hängt schließlich die Unterscheidbarkeit zwischen Original und Kopie selbst an symbolischer und damit unzuverlässiger, da *physikalischer* Altersbestimmung unzugänglicher Indizierung: „Nur durch die Datierung von Dateien (und diese kann sich ändern) ist es möglich zu entscheiden, welche das Original und welche die (spätere) Kopie ist.“²⁷¹

Die offenkundige Unmöglichkeit nun, beim Kafka-Beispiel die Block- wieder in die Originalhandschrift zu verwandeln, berührt das hiesige Argument in keinsten Weise, da dies ein Sprung von der Symbol- auf die Signalebene wäre, die aus Shannons Entropiekalkül von vornherein ausgeklammert ist. Vielmehr ist die Existenz symbolischer Verfasstheit überhaupt, unabhängig von der typographischen Realisierung, notwendig *und* hinreichend dafür, dass Nachrichten im Schriftmedium verlustfrei gemäß der Informationsentropie übertragen werden können.

Man kann [...] einen einfachen Versuch durchführen. Man zeichne auf ein Blatt Papier ein Bild eines Hauses mit einigen Bäumen und verlange von jemandem, es zu reproduzieren; dessen Arbeit gebe man einer anderen Person, und verlange von ihr das gleiche. Dieses

²⁷⁰ Siehe etwa Haugen 2004/2007, 100f.

²⁷¹ Ebd., 101. Die Unmöglichkeit, Original und Kopie wie im Falle handschriftlicher Kopien über voneinander abweichende Signalschemata auseinanderzuhalten, hat nicht damit zu tun, dass es im elektrotechnisch-Digitalen kein Korrelat dessen gäbe, sondern mit Software als *dynamischer* Textsorte, die bei jeder Adressierung aufs Neue in Signale umgewandelt wird. Auch diese sind, da die Computerhardware dem *Zweiten Hauptsatz* untersteht, jeweils thermodynamisch einmalig, beruhen aber auf demselben symbolischen Datenmuster, wohingegen im Falle von Handschrift eine phänomenologische und nicht bloß analytische Trennung von Nachricht und Signal ausgeschlossen ist, es also keine Syntaktik ohne Graphematik gibt.

kleine Spiel ist bekannt; wenn es einige Zeit lang fortgesetzt wird, erhält man bekanntlich eine derartige „Verstümmelung“, dass die letzten Zeichnungen zum Original keine Beziehung mehr haben.²⁷²

Von Menschenhand geführtes Schreibzeug – mit der Aufgabe betraut, infinitesimal kleine Differenzen zu reproduzieren, vollzieht es an diesem Kontinuum also eine Struktur nach, die dem *Zweiten Hauptsatz* verwandt ist: ein sukzessives Vergessen der Anfangsbedingungen.²⁷³

Statt dessen kennzeichnen wir die einzelnen Teile dieser Originalzeichnung mit einer Folge von Zahlen, welche verschiedene Personen nacheinander abschreiben sollen: wenn diese Personen [...] nur ein wenig aufmerksam sind, werden sie dieselbe Ziffernfolge, d. h. eine gleichbleibende unversehrte Information übertragen, und am Ende der Kette würde ein Zeichner in der Lage sein, von diesen Ziffern aus das Bild originalgetreu wiederherzustellen. Gerade hier liegt der ganze Unterschied zwischen Übertragung von Signalen und der Übertragung von Informationen.²⁷⁴

Bis auf die notorische Verwechslung von Information und Nachricht deckt sich der zitierte Passus völlig mit der hier dargelegten Beobachtung einer *konstant* bleibenden Entropie in der Symbolübertragung. In der folgenden Gegenüberstellung (*Abb. 4*) ließe sich nicht das linke Schema, wohl aber die danebenstehende digitale Repräsentation verlustfrei kopieren:

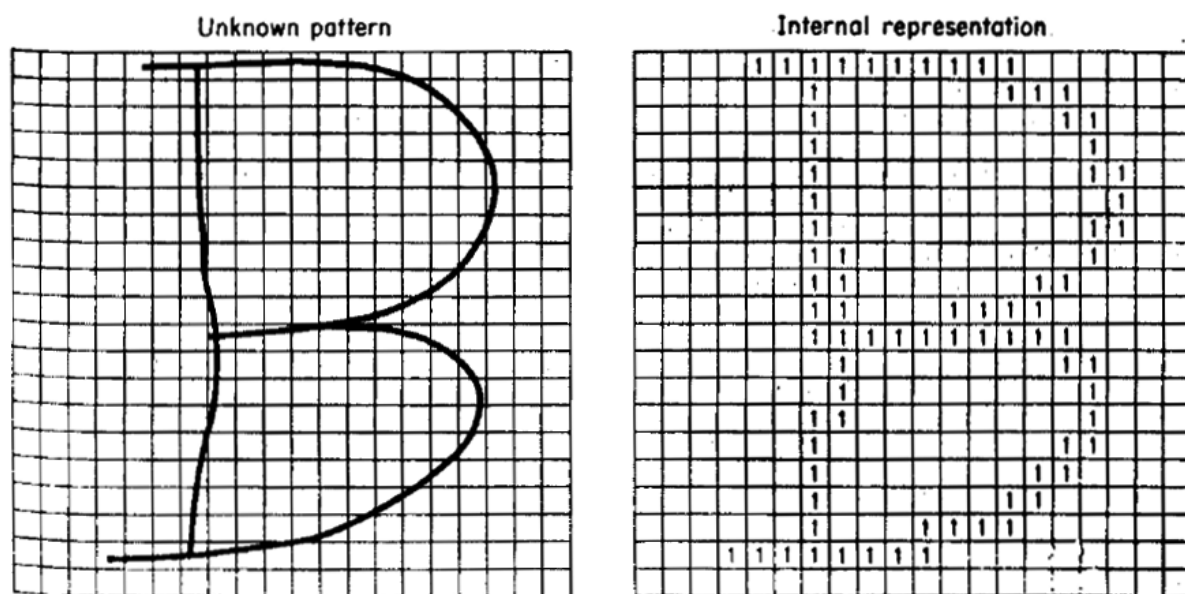


Abb. 4: Unabgetasteter handgeschriebener Buchstabe ‚B‘ (links) versus digitale Repräsentation auf 20 x 20 Bitfeldern (rechts)

²⁷² Ducrocq 1955/1959, 191.

²⁷³ So gilt thermodynamisch, anders als in der zeitsymmetrischen Newton'schen Mechanik: „In einem isolierten System streben [...] *alle* Nichtgleichgewichtszustände *demselben* Gleichgewichtszustand zu. Wenn er das Gleichgewicht erreicht hat, hat das System seine Anfangsbedingungen *vergessen*, hat es vergessen, wie es präpariert worden ist.“ (Prigogine/Stengers 1990, 130 – Hervorhebung i. O.)

²⁷⁴ Ducrocq 1955/1959, 191.

Das *Zeitalter der technischen Reproduzierbarkeit* hat demnach nicht erst mit dem Advent technischer Medien begonnen. Die theoretische Reflexion dessen setzt mindestens im Spätmittelalter und den Reproduktionstheorien Leon Battista Albertis ein. Alberti, der in penibler Sorge um das „precise copying“ seiner Texte figurative Elemente wie Zeichnungen oder Diagramme aus ihnen weitestgehend verbannte,²⁷⁵ erkannte die Macht symbolischer Codierung noch in weiteren Anwendungsfeldern. Seine Schrift *De Pictura* nimmt sich als Abtastungstheorie *avant la lettre* mit dem inzwischen technische Realität gewordenen Vorschlag an, Lichteindrücke auf Matrizen abzubilden; in *De re aedificatoria* ersann er eine Art tektonischer Syntax zur Reproduktion von Baukunst.²⁷⁶ Selbst wenn Alberti nicht soweit ging, seine Materie-Abstraktionen final auf eine numerische Codierung zu bringen, waren sie doch „digital-ready“²⁷⁷ im zeitgenössischen, binäre Schaltalgebra implizierenden Sinn. Deshalb markieren die Erfindungen von Buchdruckerpresse oder Digitalcomputer in punkto Kopierbarkeit zwar eine *techno-*, aber keine *epistemologische* Zäsur:

The only significant difference between Alberti's digital processes and ours is that the huge amount of numerical data generated by digitization are now automatically processed by [...] machines, whereas Alberti's hand-operated machines would have been [...] somewhat slower²⁷⁸

– und durchaus fehleranfälliger,²⁷⁹ was nichts daran ändert, dass die *Möglichkeit* verlustfreier Kopien im digitalen Code immer schon angelegt ist. Anhand von Albertis Digitalisierungsideen für Bilder und Bauwerke tritt nun zu Tage, dass Platons Vergleich von Buchstaben mit Werken der Malerei nicht radikal genug im Sinne der Informationstheorie war,²⁸⁰ sondern dass Schrift (als Code, nicht Tinte) in einer viel immaterielleren, genauer: einer gegenüber Materialitäten indifferenten Sphäre beheimatet ist.

Reflektieren wir abschließend, wie wir zu dem oben gewonnenen Ausdruck (5.IV), also dem Entropiedifferential $\Delta H=0$ gelangt sind. Im ersten Schritt hatten wir Shannon,

²⁷⁵ Siehe Carpo 2008, 48. „Alphabetical texts“, so Carpo, „have one advantage over handmade drawings: the alphabet is made up of less than thirty standard signs that are exactly repeatable; on the contrary, a drawing is made of an unpredictable number of signs, none of them standard nor exactly repeatable.“ (Ebd., 49) Allein dass Carpo bereits die kleinsten Elemente einer Zeichnung zu ‚Zeichen‘ erklärt, fällt aus seiner sonst ungemein präzisen Differenzbestimmung heraus. Im Falle einer Handzeichnung sind die kleinsten denkbaren Elemente keine Zeichen, sondern Pigmentpartikeln. Zum Zeichen werden diese erst im Verbund, nämlich zu einem *Ikon* im Sinne Charles Sanders Peirce', dessen Gestalthaftigkeit selbst nicht mehr durch seine reine Physikalität definierbar ist.

²⁷⁶ Vgl. ebd., 52-55; 56-60.

²⁷⁷ Ebd., 55.

²⁷⁸ Ebd., 52.

²⁷⁹ Ebd., 62.

²⁸⁰ Hiermit sei nicht impliziert, dass von Platons Text Selbiges zu erwarten wäre, sondern vielmehr von einem teleologischen Geschichtsmodell, das die Informationstheorie bereits in der Antike anheben sähe, Abstand genommen.

ausgehend von seiner Übertragung des Entropiekalküls auf Symbolensembles, als Entkörperlichungstheoretiker markiert. Indem wir diesen Kalkül erprobten und mit dem physikalischen Ausdruck für ‚Tod‘ abglichen, erhielten wir plötzlich ein formales Korrelat für Stabilität im Digitalen, also für das zweite Register innerhalb der schrifttheoretischen Todeskonzeptionen von Platon, Schleiermacher und Gadamer. Diese formale Wiedereinkehr der Prinzipien Arretierung und Dematerialisierung wäre aus der bloßen Diskussion von Shannons Theorie nicht ersichtlich gewesen, vielmehr bedurfte diese ihrer Anwendung. Der hiesige Erkenntnisgewinn deckt sich so in gewisser Weise damit, was in der Theorie logischen Schließens ein *free ride* genannt wird: „[...] a free ride is where a reasoner attains a semantically significant fact σ [...], while the instructions of operations that the reasoner has followed do not entail the realization of σ .“²⁸¹ Durch besagtes ‚semantisch bedeutendes Faktum‘ lassen sich die zwei Bewegungen *Stillstellen* und *Entkörperlichen* in ihre epistemische Rangfolge bringen, welche sich umgekehrt zur Abfolge im *Vorspann* dieser Arbeit verhält. Nun können wir das Schema so spezifizieren, dass es sich beim Ausdruck (5.IV) um einen Stillstand *durch* Entkörperlichung handelt; diese ist Voraussetzung für jenen. Etwas muss symbolisch codiert sein, damit es stabil bleiben kann.



Abb. 5: „Der Wärmetod wäre, hinreichend niedrige Temperatur vorausgesetzt, nicht ein Brei, sondern eine Versammlung von komplizierten Skeletten.“ (Weizsäcker 1985/1988, 178) Der Holzschnitt *Danse Macabre* (Matthias Huss, 1499) verlegt diese Versammlung, wie zur Illustration der hier entfaltenen Analogie, in eine Kopistenwerkstatt.

²⁸¹ Shimojima 1996, 32.

5.4.2. Gleichursprüngliches Reset: Zur Zeitlosigkeit der Rastergrafik

Strukturwissenschaftliche Zugänge, die auf disperse Gegebenheiten mit demselben Formalismus zugreifen und denen auch die vorliegende Arbeit nahesteht, tun gut daran, die Vergleichbarkeit ihrer Phänomene am Gegenstand nachzuweisen. Im Falle der gleichwertigen Anwendbarkeit des Entropiekalküls auf physikalische Systeme *und* digitale Codes, um die es hier geht, kann solch ein prägnanter Nachweis im Bereich der digitalen Bildverarbeitung gefunden werden. So ist ein sehr verbreitetes Werkzeug zur deskriptiven Statistik und Analyse digitaler Bilder das sogenannte *Histogramm*. Beim Histogramm handelt es sich um die „Häufigkeitsverteilung der Grauwerte eines Bildes, aufgetragen gegen den Grauwert selbst“.²⁸² Die häufigste Darstellungsform hierfür ist das Balkendiagramm (*Abb. 6*):

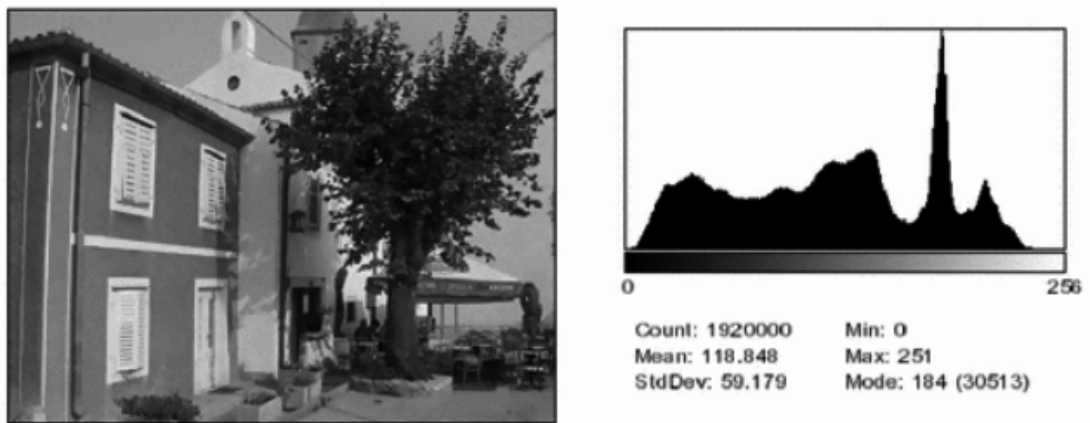


Abb. 6: 8-Bit-Grauwertbild (links) mit zugehörigem Histogramm (rechts), das die Häufigkeitsverteilung der 256 Intensitätswerte anzeigt

Im obigen Fall besteht das Histogramm aus 251 ‚Kammern‘ (*bins*), auf die 1 920 000 Bildpunkte in unterschiedlicher Häufigkeit verteilt sind. Wie schon in Boltzmanns Entropiekalkül, da er Teilchen als ununterscheidbar voraussetzt, nur Aussagen über das Vorkommen innerhalb eines Volumenelementes, nicht aber über die tatsächliche Raumkoordinate eines Partikels gemacht werden, liefern auch Histogramme also „keine Informationen über die *örtliche* Anordnung der Grauwerte in einer Bildmatrix“²⁸³.

Auf Grundlage des Histogramms lässt sich nun die Entropie des Bildes berechnen – eine Rechenoperation, die über eine bloß formale Analogie zum physikalischen Zugang weit hinausgeht: In der physikalischen Entropieberechnung nach Boltzmann wird die Wahrscheinlichkeit erfasst, mit der sich ein Molekül in einer beliebigen imaginären ‚Zelle‘

²⁸² Erhardt 2008, 102.

²⁸³ Neumann 2005, 29 – Hervorhebung M. W.

des Volumens befindet. Im auf digitale Bilder gewendeten Entropiekalkül nach Shannon wird erfasst, mit welcher Wahrscheinlichkeit p_i ein Pixel in einer beliebigen ‚Kammer‘ ihres jeweiligen Histogramms anzutreffen ist.²⁸⁴ Lev Manovich hat die Bedeutung der daraus gewonnenen Werte sehr konzise benannt: „Entropy describes the degree of uncertainty in the data – that is, how difficult or how easy it is to predict the unknown data values given the values we already know. If an image consists of a few monochrome areas, its entropy will be low.“²⁸⁵ Allein, so gestalttheoretisch ähnlich die ‚Zellen‘ und ‚Kammern‘ von physikalischen Volumina und Histogrammen, so verschieden ist die jeweilige Zeitstruktur von Molekülpopulationen und Helligkeitswerten. Zunächst ändern Lichtwertmessungen an digitalen Bildern nichts an deren innerer Organisation, während sich durch Messungen an physikalischen Systemen notwendig „ein unstetiger, akausaler, irreversibler, stochastischer Übergang“²⁸⁶ und damit eine Entropieerhöhung vollzieht. Vor allem aber ist mit der Übertragung des Entropiekalküls auf Pixelintensitäten der formale Boden dafür bereitet, die angesprochene *Code-Stabilität* nicht erst im Prozess des digitalen Kopiervorgangs anheben zu sehen.

In einem digital gerasterten Bild entwickelt sich die Verteilung der Pixel mit der Zeit *nicht* zu einem Zustand maximaler Unordnung, sodass beispielsweise die in *Abb. 6* aufgeführte 8-Bit-Grafik mit der Zeit automatisch sämtliche 256 Grauwerte annehmen würde. Dies wäre eine auf die digitale Bildverarbeitung gewendete, zum Maximum hinstrebende Entropie*zunahme* gemäß dem *Zweiten Hauptsatz*. Gleichzeitig wird das Bild aber auch nicht zu einer ‚negativ entropischen‘ Anordnung hintendieren, sodass alle Bildpunkte irgendwann denselben Farbton aufweisen würden – ganz so, als hätte sich Maxwells Dämon in den Rasterbildschirm eingenistet. Stattdessen ist davon auszugehen, dass das Bild über sehr lange Zeit hinweg bei jedem Reset in der exakt selben Anordnung, quasi *gleichursprünglich*,²⁸⁷ in den Bildschirmspeicher geladen wird, sodass auch hier wieder gilt:

²⁸⁴ Eine *Open Source*-Anwendung, die solche Entropieberechnungen durchführt, ist das seitens der *Software Studies Initiative* (San Diego/New York) entwickelte und unter <http://culturemaps.net/software/qtip-qimageextractor> bereitgestellte Tool *QTIP Image Extractor*. Siehe auch die dazugehörige Dokumentation, in der die Berechnung wie folgt erklärt wird: „The formula is $-\sum(p \cdot \log_2(p))$, with p the value of each histogram bin.“ (<http://culturemaps.net/software/read-me-for-qtip>, abgerufen am 10. Februar 2014)

²⁸⁵ Manovich 2012, 266.

²⁸⁶ Kanitscheider 1996, 101.

²⁸⁷ Wolfgang Ernst entwickelt diesen Begriff insbesondere als gegenläufiges Modell zu auf historischer Relativität pochender Geschichtsschreibung und damit zur Akzentuierung epistemischer Invarianzen (siehe Ernst 2013, 429). Wenn im selben Kapitel jedoch von Medien als „symbolisch informierte[n] Wesen“ die Rede ist, die „in der logischen Zeit, d. h. in einem von Materie und Energie enthobenen Feld [operieren]“ (ebd., 423), berührt der Begriff der *Gleichursprünglichkeit* unmittelbar das hier vorgebrachte Argument. Mit Blick auf Weizsäckers Deutung des *Zweiten Hauptsatzes* als ‚Geschichtlichkeit der Natur‘ und dem hier ver-

$$\Delta H=0 \text{ (5.IV)}$$

Demgegenüber wäre bei einer analogen Fotografie unverzüglich, wenn auch nicht unmittelbar für den Beobachter sichtbar, eine Entropieänderung auf Pigmentebene zu verzeichnen. So bildet sich kurioserweise der Modus, in dem Analog- und Digitalmedien ihre Daten gewinnen, auf ihre eigene Existenz *in der Zeit* ab – vergleichbar mit der Struktur einer *mise en abyme*. Analogmedien operieren in einem *kontinuierlichen* Wertebereich; gleichzeitig entspricht die Verfallskurve ihrer Speicherinhalte dem *vollständigen Differential* der Entropiedifferenzen in Abhängigkeit vom Parameter *t*.²⁸⁸ Dagegen arbeiten zeitgenössische Digitalmedien, also Computer, nicht bloß in *diskreten* Schritten, sondern zugleich *binär* – ein Wirken, das *isomorph* zu ihrem realweltlichen Funktionieren steht:

Die „Zerfallskurve“ digitaler Daten unterscheidet sich stark vom Zerfall analoger Daten (z.B. Fotografien). Analoge Daten zeigen eine *kontinuierliche Qualitätsverschlechterung*, die durch optimale Lagerung nicht aufgehalten, sondern nur verlangsamt werden kann [...]²⁸⁹

– analog zur Bestimmung von ‚Leben‘ als Todesaufschub in Biophysik und Kybernetik.

Digital gespeicherte Information [dagegen] ist *entweder lesbar und damit ohne Qualitätsverlust verfügbar, oder die Information ist unlesbar und damit „vollständig zerfallen“*. Ein gradueller Qualitätsverlust ist bei digital gespeicherter Information nicht möglich.²⁹⁰

Bei Schrödinger, Wiener (und noch vor ihnen Heidegger) war das *Noch-nicht* ein *Noch-nicht-stillstehen*, der Aufschub des Todes als sich nicht mehr ändernder Entropie. In der Frage nach der Auslesbarkeit von Code-Texturen ist das *Noch-nicht* ein *Noch-nicht-bewegtsein*, der Aufschub einer derart schwankenden Trägermedienentropie, dass sie den Zugang zum Code, hier zum digitalen Bild, selbst versperrt.

Im biophysikalischen und kybernetischen Lebensdiskurs fanden sich mit den *dissipativen Strukturen* von Enzymen oder Rundfunksignalen solche Ordnungsschemata in den Sog des *Zweiten Hauptsatzes* eingelassen, die mit ihm notwendig dieselbe Zeitstruktur teilten. Dagegen vollziehen digitale Codes an ihren materiellen Trägern das, was in Batesons und Watzlawicks Kommunikationstheorien *Interpunktion* heißt.²⁹¹ Auch noch dann, wenn formale Maschinen, die einst „bloß auf dem Papier“²⁹² standen, zu ihrer realweltlichen Implementierung finden, ist die Rede von ihnen als *symbolischen Maschinen* deshalb legitim.

suchten Nachweis, dass dieser Satz im Digitalen nicht gilt, lassen sich beide Ebenen – *Historiographie* versus *Gleichursprünglichkeit* sowie *physikalische* versus *symbolische* Maschinen – womöglich ohnehin zusammendenken.

²⁸⁸ Zur thermodynamischen Definiertheit der Entropie durch ihr *vollständiges* oder *totales Differential* siehe Lüdecke/Lüdecke 2000, 131.

²⁸⁹ Gschwind 2006, 168f. – Hervorhebung M. W.

²⁹⁰ Ebd., 169 – Hervorhebung M. W.

²⁹¹ Siehe Watzlawick/Beavin/Jackson 1996, 60f.

²⁹² Krämer 1988, 2.

Dieses Paradox verbindet sämtliche Medien, die auf der analytischen Trennung zwischen physikalischem Träger und symbolischem Material beruhen: Bücher wie DVDs, Telegraphen wie Computer sind zwar auf Ebene ihrer physikalischen Hardware zweifelsohne von der Zerstörung qua Entropiezunahme bedroht. Ihre Informationsentropie jedoch bleibt solange stabil, „as long as the operation of each component produces only fluctuations within its preassigned tolerance limits.“²⁹³ Bücher, nicht aber Buchstaben, Bilder auf Leinwand, nicht aber Bildpunkte können den Wärmetod sterben. Ebenso wenig ist aus ihnen freie Energie zu gewinnen. Dies mag als physikalische Wendung von Gadammers Diktum fungieren, dass ein entvokalisierter Signifikant „in seinem Sein von nichts ab[hängt]“.²⁹⁴

5.4.3. Vom *Noch-nicht-stillstehen* zum *Noch-nicht-bewegt-sein*: 10⁹ Jahre Auslesbarkeit

Dass besagtes *Noch-nicht-bewegtsein* durchaus eine Zeitspanne betragen kann, welche sich dem empirischen Nachvollzug ähnlich entzieht wie die molekulare *Poincaré-Wiederkehrzeit*,²⁹⁵ belegt eine der jüngsten Entwicklungen innerhalb der Nanophysik. Während das *Noch-nicht* im Falle magnetischer Festplatten etwa eine Dekade und bei Schriftstücken rund 500 Jahre andauert,²⁹⁶ beträgt die Latenz im Falle einer Festplatte, die im Oktober 2013 an der niederländischen Universität von Twente vorgestellt wurde, gemäß Extrapolation rund eine Milliarde Jahre.²⁹⁷

Die Anforderungen an einen Speicher, dessen Code selbst dann noch stabil ist, wenn kein Mensch ihn mehr auslesen kann, benennen die Forscher in ihrem begleitenden Paper sehr präzise. Jedem gespeicherten *bit* auf ihrem Datenträger entspricht ein Energieminimum, das durch eine hinreichend hohe Schwelle von den benachbarten Minima unterscheidbar ist. Was anstand, war mithin das maximale Ausreizen jener ‚tolerance limits‘, die schon von Neumann angesprochen hat: „In order to create a stable data carrier, able to preserve data for a million years, a high energy barrier against erasure is required.“²⁹⁸ Um dies zu gewährleisten, fanden das sehr hitzebeständige Metall Wolfram sowie eine Schutzschicht aus Siliciumnitrid Anwendung, welches sich insbesondere durch seine Wi-

²⁹³ Neumann 1948/1963, 294.

²⁹⁴ Gadamer 1990, 394.

²⁹⁵ Siehe hierzu Kap. 3.1, Anm. 107 der vorliegenden Arbeit.

²⁹⁶ Vgl. Vries/Schellenberg/Abelmann/Manz/Elwenspoek 2013, 3.

²⁹⁷ Ich danke Christoph Maurer (Berlin) für diesen Hinweis.

²⁹⁸ Vries/Schellenberg/Abelmann/Manz/Elwenspoek 2013, 4.

derständigkeit gegenüber Rissen auszeichnet.²⁹⁹ Für die Implementierung wiederum fiel die Wahl auf den aus Smartphone-Anwendungen vertrauten *Quick-Response-Code*, denn „the level of QR code containing the largest amount of information can lose up to 7% of the data before the code becomes unreadable.“³⁰⁰ Zur Lösung des Dilemmas schließlich, keinen Laborversuch über die Zeitspanne von 10^9 Jahren hinweg durchführen zu können, griffen die Forscher auf das sogenannte *Arrhenius-Gesetz* und eine Methode zurück, die sie *accelerated ageing* nennen.³⁰¹ Demnach kann die ‚natürliche‘ Stabilität eines Datenträgers aus seinem Verhalten bei extremer Erhitzung errechnet werden (*Abb. 7*).

Storage period	1 hour	1 week	1 year
1×10^6 years	461 K	411 K	380 K
1×10^9 years	509 K	455 K	420 K

Abb. 7: Minimale Test- und Aufbewahrungszeiten des Twenter Datenträgers zum Nachweis der jeweiligen Stabilitätsperiode, „which are well within the experimental range“ (Vries/Schellenberg/Abelmann/Manz/Elwenspoek 2013, 6).

Die Twenter Festplatte erfüllte die Bedingungen, die an *Gigayear Storage* zu stellen sind, indem ihre Daten nicht bloß nach einer Stunde im Ofen bei 473 K – was gemäß obiger Tabelle ausreichend für eine Stabilitätsperiode von einer Million Jahren gewesen wäre –, sondern sogar bei 848 K auslesbar blieben.³⁰²

Dieser technologische Ausblick verdeutlicht auf besondere Weise, dass es sich bei dem, was diese Arbeit als *Code-Stabilität* bezeichnet, um nichts handelt, was bei realer Erprobung umgehend als Idealisierung entlarvt würde. Die paradoxe Zeitlichkeit digitaler Codes zu beschreiben – paradox deshalb, da ihre Zeitlichkeit eine *Zeitlosigkeit* gemäß dem

²⁹⁹ Vgl. ebd., 7f. Begleitende Passagen in dem Twenter Aufsatz, die diese Materialität begründen, lesen sich nebenbei wie eine Provokation der vitalistischen Theorie Wieners. Erstens seien die Reproduktionsvorgänge in lebenden Organismen *kein* geeignetes Vorbild für stabile Speicher: „There are many types of media which will be suitable, of which the most exotic is DNA based data storage within a living organism which reproduces itself. We have chosen a disk based storage system because such a system can be created with technology which is already available and will likely be easier recognisable than a data carrier inside a living organism.“ (Ebd., 3) Zweitens suchen die Autoren die Umweltabhängigkeit ihres Mediums weitestgehend zu kappen: So könne die Stabilität der Daten „of course be increased by storing it in a monitored environment such as in current paper archives where the humidity, temperature, pressure etc. are controlled. This however“, so heißt es weiter, „would require that the environment also survives and is maintained for at least as long as the data carrier. We believe that the chances of such an environment surviving for a million years in operating conditions are slim, so we prefer a data carrier which has a high chance of surviving without such a dedicated environment.“ (Ebd., 4)

³⁰⁰ Ebd., 9.

³⁰¹ Siehe ebd., 4-6.

³⁰² Vgl. ebd., 13.

Zweiten Hauptsatz darstellt –, erfordert mithin eine Akzentverschiebung vom Bewegten hin zum Unbewegten, gewissermaßen die begriffliche Rückbesinnung vom Inventar der *Nichtgleichgewichtsthermodynamik*, die einzig „Nichtlinearität, Instabilität und Schwankungen“³⁰³ fokussiert, auf den so ausgeklammerten Endzustand der ‚Kältestarre‘. Denn *Materie-Stabilität* und damit der *reale Stillstand* wurden im ‚Entropiediskurs‘ nach Boltzmann als ein so randständiger Ausnahmefall behandelt – da es ‚Leben‘ zu erklären galt –, dass er, bei Schrödinger wie bei Wiener, bisweilen nicht einmal mehr mit Formeln anschreibbar war. Dagegen erscheint *Code-Stabilität* und damit der *symbolische Stillstand* als privilegierte Seinsform digitaler Codes – soweit, dass sich deren Umkippen in Bewegtheit im Falle von *Gigayear Storage* jeglicher Erfahrbarkeit entzieht. Im zeitgenössischen ‚Entropiediskurs‘ heißt es: „[...] nur die Fälle *konstanter Entropie* (etwa eingestellte Temperaturgleichgewichte) lassen wir oft als uninteressant außer [!] der Beobachtung.“³⁰⁴ Für den Informationsdiskurs lässt sich dagegen feststellen, dass Fälle *konstanter Entropie* (etwa verlustfreie Kopien oder gleichursprüngliches Reset) nicht bloß ‚interessant‘, sondern vielmehr die Regel sind.

Es sei nun nicht behauptet, dass diese symbolische Entropiekonstanz phänomenologisch gleichwertig wäre mit der physikalischen. Im Gegenteil: Die Stabilität im Falle der Shannon-Entropie ist ungleich universeller. *Erstens* gibt es Stabilität in der Thermodynamik nur im Falle maximaler Entropie, also des Gleichgewichts. Die Shannon-Entropie dagegen kann immer auch auf Zeichensysteme angewandt werden, die, nachrichtentheoretisch gesprochen, Redundanz aufweisen, und dennoch bleibt sie stabil. In der physikalischen Welt nach Boltzmann gilt: „Die Entropie nimmt den höchsten möglichen Wert an, wenn sie ihn nicht hat, und behält ihn, wenn sie ihn hat.“³⁰⁵ In der symbolischen Welt nach Shannon hingegen gilt, dass die Entropie ihren Wert auch behalten kann und in einer überwältigenden Vielzahl auch behält, selbst wenn dieser nicht maximal ist. *Zweitens* bedeutet das Gleichgewicht im physikalischen Sinne zwar konstante Entropie und damit Stillstand, auf mikroskopischer Ebene jedoch nicht das Fehlen von Bewegung *per se*. Im Falle der *Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung*, die nach Boltzmanns Nachweis mit der Zeit jedes Gas erreicht haben wird,³⁰⁶ handelt es sich vielmehr um gleichverteilte *Ge-*

³⁰³ Prigogine/Stengers ⁶1990, 21.

³⁰⁴ Weizsäcker 1985/1988, 137f. – Hervorhebung M. W.

³⁰⁵ Weizsäcker ²2006, 57.

³⁰⁶ Vgl. Boltzmann 1872/1909, 318f.; 345; 357f.

schwindigkeiten innerhalb des Gases. Darum sei an dieser Stelle behauptet, dass es genuine Stabilität nur in den Codes von Digitalmedien gibt.

Die hier verwendete Begrifflichkeit mag zunächst kontraintuitiv erscheinen – da etwas, das verlustfrei *erhalten* bleibt, unter den Terminus ‚Tod‘ gefasst wird, während etwa die Twenter Physiker von einem „long time survival“ ihrer Festplatte sowie einer „longevity of the data“ sprechen.³⁰⁷ Tatsächlich aber bedeuten bereits die Rede, ein Text mache den Autor ‚unsterblich‘, und der Befund, Schrift ‚töte‘ diesen, das Gleiche. Nach Schrödinger ist Leben gleichbedeutend mit Sterben, es definiert sich also durch ein *stetiges* Zusteuern auf den Punkt des Todes, der ein Stillstand ist. Anders gesagt, *wo und nur wo ein Zeitpfeil ist, gibt es Leben*. Begreifen wir nun für einen Moment „alle Vorgänge an Gestalten, bei denen Energie umgesetzt wird, als Leben“³⁰⁸, dann fallen auch die „zeitabhängigen Zerfallsgesetz[e] (Diffusionsgleichungen)“³⁰⁹ darunter. Denn: „Der Tod bringt nur einen Leichnam hervor; die Verwesung aber ist schon ein Zeugnis neuen Lebens, freilich auf niedrigerer Stufe.“³¹⁰

Dies ist ein Befund, der sich entschieden abgrenzt von jenen medientheoretischen Untersuchungen, die bereits im Kontext der analogen Signalspeicherung von ‚Stillstand‘ oder ‚Tod‘ sprechen. So heißt es bei Jens Schröter,

daß [...] zwischen den analog-mechanischen, analog-fotochemischen und analog-elektromagnetischen auf der einen und den digital-elektromagnetischen sowie digital-magneto-optischen Speichermedien auf der anderen Seite eine mächtige Kontinuität fortlebt, die das Spezifikum aller [...] technologischen Speicher darstellt: Das Paradigma der *Stillstellung* durch Abtastung.³¹¹

Abgesehen von der Frage, ob der Begriff der *Abtastung* für die genannten analogtechnischen Verfahren, also etwa für veränderliche Lichtemulsionen, überhaupt zutreffend ist: Gegen Schröters Kontinuitätsversprechen führt diese Arbeit ins Feld, dass ein tatsächlicher *Stillstand* im physikalisch informierten Sinne bei Analogmedien erst in jenem Zustand der vollständigen Zersettheit vorliegt, der mathematisch dem maximalen Entropiewert entspricht, dabei aber keine Stillstellung des ehemals fixierten Referenzobjektes mehr ist; in Digitalmedien hingegen ein Stillstehen bereits auf Daten- und nicht bloß auf Datenträgerseite erstens möglich und zweitens die Regel ist. Der Unterschied zwischen analoger Signal- und digitaler Symbolspeicherung ist also jener zwischen physikochemi-

³⁰⁷ Vries/Schellenberg/Abelmann/Manz/Elwenspoek 2013, 3.

³⁰⁸ Weizsäcker ²2006, 97.

³⁰⁹ Rehder 1984, 271.

³¹⁰ Weizsäcker ²2006, 97.

³¹¹ Schröter 2004, 61 – Hervorhebung M. W.

scher *Fixierung* und codebasierter *Arretierung*. Erzeugnisse analog-fotochemischer Speicherverfahren sind nach ihrer Belichtung noch sehr lange in stetiger Bewegung, ausgelöst durch einen physikalischen Gewaltakt namens Diffusion: „Nur [...] äußere Gewalt zerstört die Gestalt, der innere Tod reißt die Gestalt nicht ein, sondern er lässt sie stehen.“³¹² Analoge Medien ‚leben‘, solange sie verwesen, und reißen dabei unweigerlich ihre Daten mit – im Unterschied zu Medien, die als „Kombination aus Materialität (Technik) und Logik (Code)“³¹³ auftreten und das letztgenannte Register über sehr lange Zeitspannen hinweg vom Entropiedifferential ausgeklammert halten können.

Analoge Speichermedien übertragen also einen realen Referenten, der dem *Zweiten Hauptsatz* untersteht, in einen realen Speicher, für den ausnahmslos derselbe Satz und damit dieselbe Zeitstruktur gilt. „Phonographie“, heißt es bei Friedrich Kittler, „besagt Tod des Autors; sie speichert statt ewiger Gedanken und Wortprägungen eine sterbliche Stimme.“³¹⁴ Wenn hingegen ‚Sterblichkeit‘ gleichbedeutend ist mit ‚Leben‘, dann sind Analogmedien, im hiesigen terminologischen Feld, für ihren Input weniger *Tod* als vielmehr eine *lebensverlängernde Maßnahme*.³¹⁵

Vermutlich ist dieser Zusammenhang von Analogmedien und ‚Leben‘ in der Populärkultur nirgendwo so pointiert in Szene gesetzt worden wie im japanischen Horrorfilm *Ringu*, der von einem mysteriösen Videoband handelt, dessen Betrachter jeweils nach der Sichtung die telefonische Mitteilung erreicht, sie würden in sieben Tagen tot sein. Sobald sich diese Prognose erfüllt, wird in den Wohnungen der Todgeweihten stets ihr Fernseher von weißem Rauschen ausgefüllt – also einem Zustand maximaler Signal-Entropie, da er, strukturanalog zur *Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung*, „dieselbe Amplitude auf jeder Frequenz“³¹⁶ aufweist, und damit der physikalischen Definition von ‚Tod‘. Wie sich am Ende herausstellt, kann aus diesem Kreislauf bloß ausgebrochen und der Tod aufgeschoben werden, indem man die Videokassette *kopiert*. Der Kopiervorgang erscheint so als retardierende Verkettung, welche nicht nur den biologischen, sondern auch den Signaltod hinauszögert – bis zur gänzlichen Diffusion der letzten Bandkopie.

³¹² Weizsäcker ²2006, 97.

³¹³ Ernst 2008, 174.

³¹⁴ Kittler ⁴2003, 286.

³¹⁵ In diesem Sinne widerspricht die vorliegende Arbeit auch Kittlers Ausführungen zur Serienfotografie: „Mit der chronophotographischen Flinte“, so Kittler, „wurde der mechanisierte Tod perfekt: [...] Was das Maschinengewehr vernichtete, machte die Kamera unsterblich.“ Kittler 1986, 190.

³¹⁶ Rautzenberg ²2010, 133.

Bevor nun im Folgenden der Nachweis ansteht, dass besagte Stabilität in Digitalmedien selbst für den Fall gilt, wo sie scheinbar ‚in Bewegung‘ sind, mithin *rechnen*, sei abschließend eine terminologische Klärung geboten. So bedarf die hiesige Entscheidung, von ‚Analogmedien‘ im Sinne *kontinuierlich* aufzeichnender und übertragender Apparaturen zu sprechen, obwohl die aus der Boltzmann'schen Atomistik vertraute Diskretisierung von Energiezuständen über Volumenelemente auch auf sie anwendbar ist, einer kurzen Rechtfertigung. Diese schließt das Votum ein, dass selbst die Episteme der Quantenmechanik, als deren Wegbereiter Boltzmanns *statistische Mechanik* gelten darf,³¹⁷ die Rede von Analogmedien gerade *nicht* obsolet macht.

Erstens handelt es sich bei den Molekülen, deren Permutationszahl in der Boltzmann'schen Größe P verziffert ist, um eine *virtuelle* Diskretheit. Wie aufgezeigt, setzt besagtes P ein kategorisches *Unwissen* über die konkreten Orts- und Impulskoordinaten der Teilchen voraus, denn sonst hätte die Entropie eines beliebigen physikalischen Systems einheitlich den Wert 0. Dass selbst eine quantenmechanische Messung diesen Wert nicht erreichen kann, ist wiederum im Zusammenhang mit Wiener deutlich geworden. Die kleinsten, nicht mehr weiter zergliederbaren Elemente sind somit auch durch die exakteste aller denkbaren Messmethoden keiner kontrollierten Analyse zugänglich. Dagegen handelt es sich im Gegenstandsbereich der Shannon-Entropie um eine *faktische* Diskretheit. Die kleinsten Elemente einer Nachrichtenquelle, also die Symbole, müssen sowohl für den Sender als auch den Empfänger als abzählbar *und* bekannt vorausgesetzt werden, da sich sonst keine Erwartungswerte respektive eine *potentielle* Information angeben ließen:

Shannon's formula requires a high degree of confirmation. In fact his formula is built on the complete stability of the alphabet used, of the expectation probabilities and of the channel. This means that outside the highly stable, agreeable, excessively confirmed situation, the formula is invalid because values of expectation probabilities cannot be reliably established.³¹⁸

³¹⁷ Vgl. Flamm 2000, XIII.

³¹⁸ Weizsäcker/Weizsäcker 1998, 502. Über jene Kontroverse innerhalb der Linguistik kurz nach Erscheinen von Shannons Theorie, inwieweit letztere zur Beschreibung von verbalsprachlicher Kommunikation geeignet sein mag, lässt sich darüber hinaus eine Verbindung zum *Vorspann*-Kapitel dieser Arbeit herstellen. Lily E. Kay gibt diese Kontroverse wie folgt wieder: „Die Kritiker erläuterten, [...] dass in Shannons Informationstheorie die wichtigsten Bestandteile – Code, Sender, Empfänger, Kanal und Signal – *präzise definierbare Entitäten mit quantifizierbaren Eigenschaften* waren. Bei der sprachlichen Kommunikation dagegen war die Kenntnis der analogen Bestandteile – Sprache, Sprecher, Hörer, und Schallwellen – *unpräzise und bruchstückhaft und ließ sich daher nicht quantifizieren*.“ (Kay 2001, 393 – Hervorhebung M. W.) Moleküle, in der Luft wie im Eiweißleib, sind trotz ihrer Diskretheit eben noch keine Nachrichten.

Zweitens ist Boltzmanns Unterteilung des Phasenraums in Zellen endlicher Größe selbst eine Idealisierung. „Klassisch entspricht jedem Punkt im Phasenraum ein Mikrozustand, aber dieses Kontinuum ist nicht abzählbar.“³¹⁹ Auch wenn in der Quantentheorie der Begriff der Informationsentropie auf das beobachtete physikalische System selbst übertragen wird, ergibt sich hier dasselbe Problem, da „es zu jeder Alternative die kontinuierliche Mannigfaltigkeit der Zustände im Vektorraum geben kann“³²⁰. Dieser „Mannigfaltigkeit von [wenn auch diskreten – M. W.] Observablen“³²¹ steht in *symbolischen Maschinen* die Einigung auf eine apriorisch begrenzte Zahl an möglichen Zuständen innerhalb eines Symbolrepertoires entgegen.

Daraus folgt schließlich *drittens*, dass jeder Versuch, einem immerhin als diskret organisiert *gedachten* physikalischen System eine immanente ‚Codierung‘ zu unterstellen, nur fehlschlagen kann. Lili E. Kay hat am Beispiel der Molekularbiologie und deren um 1950 emergierender Rede vom ‚genetischen Code‘ die aporetische Natur solcher Metaphern aufgezeigt. Die von Kay zitierte Aussage des französischen Genetikers François Jacob soll hierfür stellvertretend angeführt werden:

Die berühmte Botschaft der Vererbung, die von einer Generation an die andere übertragen wird – niemand hat sie je geschrieben; sie bildet sich von selbst, langsam, mühselig die Wechselfälle der Reproduktionen durchquerend [...].³²²

Ähnliches gilt für die analogen Medien der Autographie. Magnetisierung von Videobändern oder photochemische Reaktion auf Fotofilm passieren von selbst und auf *makroskopischer* Ebene; nichts und niemand hat deren wenn auch *mikroskopisch* vorliegende Partikel jemals ‚codiert‘. Diese Diskretheit ist eine nachträglich den Observablen zugeschriebene, die beim vorangegangenen Prozess der Signalspeicherung keine explizite Rolle gespielt hat, wohingegen digitale Fotografie tatsächlich schon im Aufnahmeprozess auf diskrete Lichtquanten zugreift.³²³ Zwar handelt es sich auch dabei noch um keinen Code, wohl aber um eine *genuine* Diskretheit des Inputs.³²⁴

³¹⁹ Flamm 2000, XI.

³²⁰ Weizsäcker 1985/1988, 573.

³²¹ Ebd.

³²² Jacob, François (1974): „Le Modèle Linguistique en Biologie“, *Critique* 322, S. 197-205, hier: 200, zit. nach Kay 2001, 406.

³²³ Siehe für eine geraffte Darstellung der Prozesse innerhalb eines *CCD-Chips* im Moment der digitalen Bildspeicherung Hagen 2002, 221f.

³²⁴ Zum ‚Code‘ gerinnen die Messungen erst dann, wenn sie „digital in Bitmuster (=Zahlen) umgesetzt werden“ (ebd., 222). Hagen konstatiert daher mit Recht, dass sich „[d]as Digitale [und nicht das Diskrete! – M. W.] am Rand des Chips, dort, wo der ganze Quantenmechanismus bereits *gelaufen* ist“, ereignet (ebd. – Hervorhebung i. O.)

5.5. *Tertium datur*: Vom ‚(Neg-)Entropischen‘ zum *Isentropen*

„Von einem bestimmten Augenblick an
wissen wir [...] nicht mehr,
was im Grab Antigones geschieht.“
Unsere Vermutung: Sie bildet Anagramme.³²⁵
JACQUES LACAN / HELGA LUTZ /
DANIEL TYRADELLIS

Es ist gezeigt worden, dass *symbolische* Operationen, ob sie zwischen Büchern oder auf Festplatten, im Briefverkehr oder in Datenbanken stattfinden, gerade deshalb mit dem Begriff *Tod* umschrieben werden können, da sie aus der Polarität zwischen globaler Entropiezunahme einerseits und lokaler Entropiesenkung andererseits *herausfallen*. In diesem Symbolischen, sei es in Schriftstücken oder der Software von Computern, lassen sich Prozesse beobachten, die weder einer Tendenz hin zur Vermischung unterstehen (dies wäre: *Entropiezunahme*), noch ihr entgegenwirken müssen (dies wäre: die Produktion *negativer Entropie*). Stattdessen bleiben ihre Elemente, die Symbole, über sehr lange Zeit hinweg konstant bestimm- und beschreibbar.

Gleichwohl sind bislang lediglich *Speicher- und Übertragungsvorgänge* im Digitalen zur Sprache gekommen. Wie es um die Funktion der *Datenverarbeitung* steht, also die genuine mediale Operationsweise des Computers,³²⁶ ist dabei noch offen geblieben. Die abschließenden drei Kapitel sollen dem Nachweis dienen, dass Zeitlosigkeit, Stabilität und damit ‚Tod‘ auch dort gelten. Solch eine Zeitlosigkeit von digitalen Rechenvorgängen terminologisch zu fassen, bedürfte einer eigenständigen Metaphorik, würde nicht die Physik selbst einen Begriff anbieten, der Entropiekonstanz auch für thermodynamische *Prozesse* – die, so wird sich in Kürze zeigen, in Wahrheit keine Prozesse sind – erwägt.

Hierfür sei ein weiteres Mal das ‚maximal-entropische‘ Gasmodell (*Abb. 2*) aus Kapitel 3.1 der vorliegenden Arbeit in den Blick genommen. Sind innerhalb der dort stilisierten Molekülanordnung Transformationen denkbar, die gleichwohl nichts an der Entropie des Volumens ändern? Diese Frage ist zu bejahen, denn zum Beispiel „können Molekül *a* und Molekül *b* ihre Plätze tauschen und es wäre immer noch dieselbe Verteilung realisiert“³²⁷. Diese Bewegung entspräche einem *Platztausch ohne Reibungsverlust*: Eine solche

³²⁵ Lutz/Tyradellis 2005, 161, in Bezug auf Lacan 1959-1960/1996, 356.

³²⁶ Vgl. Kittler 1993a, 170f.

³²⁷ Kassung 2001, 206.

Transformation hätte, anders als es die Thermodynamik für reale physikalische Systeme festlegt, *keine* stochastische Umorganisation des Gesamtsystems zur Folge. Solch *reibungs-freie* Zustandsänderungen in Systemen, deren Moleküle nicht miteinander interagieren, kommen in der Physik allerdings, zumindest theoretisch, durchaus vor – sie heißen *isentrop*.

„Die Isentrope ist eine *Zustandsänderung bei konstanter Entropie* [...]“³²⁸ In einem sogenannten T, S -Diagramm, worin die Temperatur eines Systems gegen dessen Entropie aufgetragen ist (Abb. 8), entspricht die *Isentrope* einer senkrechten Geraden.

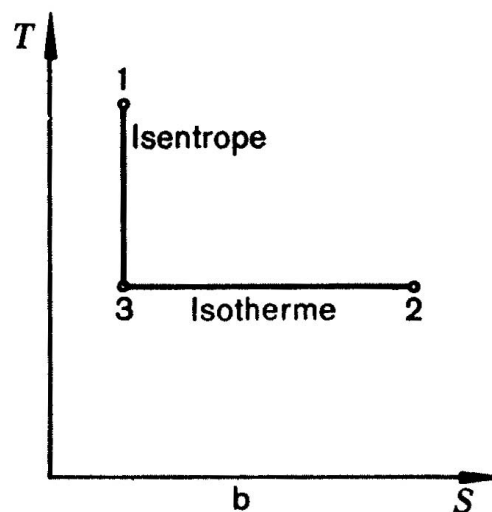


Abb 8: Gegen eine Isotherme ($\Delta T=0$) aufgetragene Isentrope ($\Delta S=0$)

Isentrope Zustandsänderungen werden in der Regel zugleich als *adiabatisch* angenommen, das heißt, sie geben keinerlei Wärme an ihre Umgebung ab. Damit sind sie sowohl *reibungs-frei* als auch *reversibel*.³²⁹ Wenn nun aber *Reibung* und damit *Irreversibilität* die ausgezeichneten Kriterien für den *Zweiten Hauptsatz* sind und dieser das Signum einer empirisch feststellbaren Zeitrichtung, dann muss für *isentrop*e Änderungen gelten, dass sich diese paradoxerweise nur im Gleichgewicht vollziehen können und damit „im strengen Sinne nicht im Ablauf der Zeit erfolgen“³³⁰. So erlaubt die Physik solche Transformationen nur unter der einschneidenden Bedingung, dass der entsprechende Prozess *unendlich langsam* zu verlaufen hat.³³¹ Es ist daher folgerichtig – und für die hiesige Argumentation entscheidend –, dass der Ausdruck für *reversible* Prozesse im thermodynamischen Formalismus mit dessen Definition des Todes schlechthin zusammenfällt: „Rein mechanische

³²⁸ Vgl. Cerbe/Hoffmann 1990, 116 – Hervorhebung i. O.

³²⁹ Vgl. ebd., 77.

³³⁰ Wehrt 1974, 123.

³³¹ Vgl. Boltzmann 1877/1909, 218.

Prozesse verlaufen adiabatisch, in diesem Verlauf kommt es zu keiner Änderung der Entropie, $\Delta S=0$.³³²

Was in Newtons Mechanik ‚Bewegung‘ hieß – ein *reibungsfreies* und *reversibles* Geschehen –, ist für die Thermodynamik also gleichbedeutend mit Stillstand. Dies legt unzweideutig fest, was bereits in den Diskussionen von Schrödingers und Wieners Theorien angeklungen war: dass *lebendige* ‚Bewegtheit‘ im Sinne der vorliegenden Arbeit nur *irreversible* Bewegungen bedeuten kann. Denn Prozesse bei konstanter Entropie sind im ‚Entropiediskurs‘ schlicht keine Prozesse – und ‚reversibel‘ heißt aus thermodynamischer Sicht, mit einem Wort, *tot*:

Daß der Zustand höchster Durchmischung, der entropische Wärmetod, welchem die vollkommen flache Gaußkurve entspricht, durch eine reversible Zeitlichkeit gekennzeichnet ist, das ist die eine [...] Bedeutungsebene der Entropie. Die andere aber ist, daß das Erreichen dieses Zustandes eine irreversible Bewegung ist [i.e. Leben – M. W.], die sich zudem auf der Mikroebene durch reversible Elementarbewegungen konstituiert.³³³

5.5.1. *Symbolischer Platztausch: Anagramm und Palindrom*

Allein, erscheinen *isentropie* Veränderungen in der Physik als rein theoretische Gedankenspiele,³³⁴ erhalten sie im Rahmen der Informationsentropie, und hierum soll es im Folgenden gehen, durchaus eine Positivität. Denn im oben bloß hypothetisch erwogenen *Platztausch der Moleküle* liegt eine wesentliche Strukturanalogie dessen vor, was Lacan als das Symbolische definiert hat, nämlich die „Kombination der Plätze als solcher“³³⁵. So belegt eine rhetorische Operation, die bezeichnenderweise nur im Schriftmedium ihre Pointe entfaltet, dass im Symbolischen ein *Platztausch bei konstanter Informationsentropie* mühelos handhabbar ist. Die Rede ist vom Anagrammieren.³³⁶

Im Folgenden sei zunächst der Entropiewert des Wortes ‚Nebel‘ errechnet.

$$\text{NEBEL} \quad H_1 = -3 * \frac{1}{5} * \log_2 \frac{1}{5} - \frac{2}{5} * \log_2 \frac{2}{5} \approx 1,92 \text{ bit} \quad (5.V)$$

³³² Wolkenstein 1986/1990, 127. Ausgeschrieben lautet der Ausdruck $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} + \Delta \sigma = 0 + 0 = 0$, wobei $\Delta Q=0$ den *adiabatischen* und $\Delta \sigma=0$ den *reversiblen* Teil des Prozesses definieren. Vgl. Perrot 1994/1998, 161.

³³³ Kassung 2001, 361.

³³⁴ Vgl. Kowalëw 1964, 549; Cerbe/Hoffmann⁹1990, 105.

³³⁵ Lacan²1991, 379.

³³⁶ „Wohl kaum eine künstlerische Praxis steht den sprachlichen Prozessen, wie sie Lacan beschreibt, die [!] Vorherrschaft des Signifikanten über das Signifikat [...] strukturell näher als das Anagrammieren [...].“ (Lutz/Tyradellis 2005, 149)

Bilden wir aus demselben Buchstabenvorrat ein anderes Wort, stellen wir fest, dass sich für dieses *Anagramm* dieselbe Informationsentropie ergibt, weil diese „nur an den Buchstabenwahrscheinlichkeiten hängt“³³⁷:

$$\text{ELBEN} \quad H_2 = -3 * \frac{1}{5} * \log_2 \frac{1}{5} - \frac{2}{5} * \log_2 \frac{2}{5} \approx 1,92 \text{ bit} \quad (5.VI)$$

Dies gilt schließlich auch für das symbolische Korrelat von Zeitumkehrinvarianz oder Reversibilität, das *Palindrom*; und es ist bezeichnend, dass Wiener die ‚Sphärenmusik‘ der Himmelskugel, also die den reversiblen Gesetzen der Newton'schen Mechanik gehorchenden Planetenlaufbahnen, als ein eben solches bezeichnet hat³³⁸:

$$\text{LEBEN} \quad H_3 = -3 * \frac{1}{5} * \log_2 \frac{1}{5} - \frac{2}{5} * \log_2 \frac{2}{5} \approx 1,92 \text{ bit} \quad (5.VII)$$

Die Gesetzmäßigkeit $\Delta H=0$ (5.IV) gilt somit auch hier, durch Shannons Homologie von Molekül- und Symbolentropie kann sie nun *isentrop* genannt werden. Denken wir Syntax und Semantik für einen Moment zusammen, enthüllt die letzte, *palindromische* Transformation in besonderer Prägnanz die fundamentale Kluft zwischen Boltzmann- und Shannon-Entropie: „Man [kann] zwar das Wort LEBEN umdrehen, um logischerweise NEBEL zu erhalten, aber nicht die Sache Leben, von der Sache Nebel ganz zu schweigen“³³⁹ – wobei das Schweigen in gleichem Maße der Sache ‚Leben‘ zu gelten hat, die von der modernen Biophysik als nicht minder irreversibles Phänomen ausgewiesen wird wie besagter Nebel. Konsequenterweise entstammte denn auch Wieners Beispiel für ein *nicht-reversibles* Geschehen, das sich auf derselben Höhenlage vollzieht wie die zuvor angesprochene ‚Sphärenmusik‘, der Meteorologie.³⁴⁰

³³⁷ Weizsäcker 1985/1988, 168.

³³⁸ Siehe Wiener 1948/1968, 54. Allerdings handelt es sich auch bei der Annahme vollständig reversibler Planetenrotation um eine Idealisierung: „Sogar bei der Bewegung der Himmelskörper fehlen unumkehrbare Einflüsse von Reibungs- und Wärmevergängen nie ganz. So wird die Rotation der Erde durch die Reibung der Gezeiten nach und nach verlangsamt, und entsprechend dieser Verlangsamung entfernt sich der Mond allmählich von der Erde, was nicht geschehen würde, wenn die Erde eine vollständig starre rotierende Kugel wäre.“ (Schrödinger 1993, 143f.)

³³⁹ Kittler 1993e, 185.

³⁴⁰ „Wenn wir [...] die Planeten filmen würden, um ein wahrnehmbares Bild ihrer Bewegung zu zeigen, und den Film rückwärts ablaufen ließen, so ergäbe sich noch, übereinstimmend mit der Newtonschen Mechanik, ein mögliches Bild der Planeten. Wenn wir dagegen die Turbulenz der Wolken in einem Gewitter filmten und den Film rückwärts ablaufen ließen, erschiene er gänzlich verkehrt.“ (Wiener 1948/1968, 54f.) Das Modell des *rückwärtslaufenden Films* darf als kanonische Didaktik des *Zweiten Hauptsatzes* gelten, für weitere Beispiele siehe Wolkenstein 1986/1990, 14.f. sowie Prigogine/Stengers/Pahaut 1979/1991, 40. Es sei daher in Betracht gezogen, ob Marshall McLuhans These einer abendländischen Privilegierung des optischen gegenüber dem akustischen Sinneskanal (siehe Carpenter/McLuhan 1960, 65f.) womöglich auch für die moderne Physik gilt. So zweifelte der Positivist Ernst Mach, einer der schärfsten Kritiker Boltzmanns, zwar vehement an der Existenz der basalen analytischen Einheit der statistischen Mechanik, der Atome und Moleküle. Überzeugt war er gleichwohl davon, dass es sich bei besagten Teilchen, wenn es sie denn

Damit erscheint die *Zeitlosigkeit des digitalen Codes* erneut als direkte Folge einer Dematerialisierung. Wie die bereits angesprochenen Dilemmata um *Maxwell'sche Dämonen*, Unschärferelationen und die Überabzählbarkeit von Phasenräumen verdeutlicht haben, sind Eingriffe in reale „Vielteilchensysteme“³⁴¹ niemals spurlos zu haben und definitive Aussagen über vergangene und zukünftige Beschaffenheit des Systems unmöglich.³⁴² Sobald ein System jedoch nicht mehr aus Molekülen, sondern aus symbolischen Platzhaltern besteht, erlaubt dies beliebige Verrückungen im Ensemble:

Die immaterielle Eigenschaft des binären Codes – seine *rein stellenwertige bzw. differentielle Substitutionslogik* läßt es zu, daß wir in der Definition des Computers und seiner Peripherien (von der Maschinensprache über die Programmiersprachen bis zu den Anwenderprogrammen) stets Übersetzungen begegnen, die kein dingliches Substrat darstellen³⁴³

– und gerade deshalb in die Nähe jener ‚Dinge‘ treten, wie sie Newtons Mechanik verhandelt hat, einschließlich der Möglichkeit, „Trajektorien zu identifizieren und die Anfangsbedingungen *beliebig zu manipulieren* [...]“³⁴⁴.

Bezeichnend ist, dass sich auch in Vilém Flussers Texten nach der *Kommunikologie*, wo er den Impetus aller Informationsverarbeitung noch in Todesangst verortet und damit, aporetischerweise, global als „negativ entropisch“ bezeichnet hatte,³⁴⁵ plötzlich ein anderes Paradigma ankündigt – just an dem Punkt, wo er das empirische Material für seine Theorie aus den graphischen Benutzeroberflächen des Computers rekrutiert: „[D]er digitale Code“ sei, so heißt es im programmatischen Vortrag über die *Krise der Linearität*, „die perfekte Methode, die Welt nach Herzenswunsch zu verändern [...]“³⁴⁶ Und weiter: Dieser „schöpferische Taumel“ sei „reine[s] Spiel“³⁴⁷. Was Flusser übersieht, ist der Um-

gäbe, um *optische* Phänomene handeln müsse. Anders ist die Diktion seiner provokanten Rückfrage an Boltzmann „Habens' schon eins *gesehen?*“ (Mach, zit. nach Bauer 2005, 1 – Hervorhebung M. W.) – gemeint ist ‚ein Molekül‘ – nicht zu erklären. John von Neumann ließ in seiner Diskussion der quantenmechanischen Messung die Prozesse ‚Messen‘ und ‚Sehen‘ gar zusammenfallen (siehe Neumann 1932/1968, 223f.). Für einen Ausblick auf eine „neue Physik“, die kleine Schwingungen in Flüssigkeiten als *Klang* erfasst – um diesen gleichwohl, da zu niederfrequent für das menschliche Gehör, wiederum auf Computermonitoren zu visualisieren –, siehe Simard/Holl 2013, 142.

³⁴¹ Coveney/Highfield 1990/1992, 391.

³⁴² Über die Vergangenheit eines Systems erlaubt die *statistische Mechanik* gar keine und futurische Aussagen nur in Begriffen der Wahrscheinlichkeit (vgl. Weizsäcker 2006, 57-59). Am Beispiel eines isolierten Gases, das anfangs einen begrenzten ‚Fleck‘ enthält und danach zu diffundieren beginnt: „Die Vorstellung einer definierten, einheitlichen Trajektorie des Gassystems durch seinen Phasenraum ist ohne Sinn. Alles, was wir sagen können, ist, daß die Gasmoleküle, die sich ursprünglich in einem kleinen Volumen des Phasenraums befanden (dargestellt durch einen Punkt), nunmehr irgendwo im Phasenraum befinden []: Der Punkt liegt immer noch im Innern des Flecks, aber der Fleck hat sich fadenartig durch den Phasenraum ausgedehnt.“ (Coveney/Highfield 1990/1992, 368)

³⁴³ Tholen 1999, 21 – Hervorhebung M. W.

³⁴⁴ Prigogine/Stengers 1990, 283 – Hervorhebung M. W.

³⁴⁵ Siehe Flusser 1996, 12f.

³⁴⁶ Flusser 1992, 37.

³⁴⁷ Ebd., 38.

stand, dass dieses ‚Spiel‘ auf Bedingungen gründet, die mit der ewigen ‚Information gegen Entropie‘-Pendelbewegung, dem von ihm so genannten „Epizyklus“³⁴⁸, nicht mehr in Einklang zu bringen sind. Kombinatorik, Platztausch, Reset, *trial-and-error*: Solch digitale ‚Spiele‘ gründen darauf, dass Operationen auf einem Alphabet nicht unweigerlich die Entropie dieses Alphabets ändern und darum Strukturverluste auch nicht aufzuhalten brauchen. Solche Vorgänge, die sich als *informations-isentrop* bezeichnen ließen, gründen Bewegung auf Stabilität.³⁴⁹ Gewiss ist diese Entropiekonstanz auch im Digitalen nicht durchweg gegeben. Wird in einem digitalen Bild ein Grauwert aus dem Histogramm gestrichen, nimmt die Informationsentropie ab. Mit einem *systemimmanenten*, zwangsläufigen Streben in Richtung Ordnungsverlust jedoch, auf dessen Voraussetzung ‚Leben‘ als physikalischer Vorgang überhaupt erst definierbar wurde, verbindet solche Entropieänderungen freilich nichts mehr. Selbst Flussers Wendung, unter Computerbedingungen tauche „[e]in Abenteuer nach dem anderen [...] aus dem Chaos auf und erschein[e] auf dem Schirm“³⁵⁰, steht noch immer auf Seiten des kybernetischen Paradigmas nach Wiener, das letztlich kein interaktives, sondern ein allenfalls interpassives ist, da es immer noch das Chaos an den Anfang stellt, aus dem es sodann gilt, Struktur herauszuschälen. Was Flussers Begriffe an digitaler Zeichenmanipulation nicht zu fassen bekommen, daran scheitern womöglich auch kybernetische Theorien der Wissensgenese: „There is something entirely implausible in the idea of Michelangelo's picking the right painting from a preexisting set or Einstein's doing the same in science“³⁵¹ – was einer Entropiesenkung als Kontingenzbekämpfung entspräche und Michelangelo wie Einstein als makroskopische *Maxwell-Dämonen* erscheinen ließe.

What I have found instead are many instances of open-ended, trial-and-error *extensions* of scientific culture. Rather than selecting between existing possibilities, scientists (and artists, and everyone else, I think) *continually construct new ones and see how they play out*³⁵²

– vergleichbar mit einem Anagramm.

³⁴⁸ Flusser 1996, 13.

³⁴⁹ Dementsprechend entbehren auch Versuche, eine digitale Enthobenheit vom *Zweiten Hauptsatz* als „Nicht-Entropie“ (Hagen 2002, 219) oder „*zero-entropy*“ (Pasquinelli 2010, 6 – Hervorhebung i. O.) zu fassen, jeglicher Grundlage und fußen offensichtlich auf der metonymischen Verwechslung zwischen der Zustandsgröße Entropie und dem *Zweiten Hauptsatz*. Plausibel jedoch ist die Rede von einer *constant entropy* in digitalen Medien, was also einem – um im Duktus der inkriminierten Passage bei Pasquinelli zu bleiben – *zero entropy differential* entspräche oder eben der Formel $\Delta H=0$.

³⁵⁰ Flusser 1992, 38.

³⁵¹ Pickering 2010, 153.

³⁵² Ebd., 153f. – zweite Hervorhebung M. W.

5.5.2. (Un)mögliche Zeitreisen: Von der Carnot- zur Turing-Maschine

*O for an engine
to keep back all clocks,
Or make the sun
forget its motion!*³⁵³

BEN JONSON

Transformationen bei konstanter Entropie sind keine randständige Fiktion der Thermodynamik, vielmehr hat ihre Annahme – was die populäre Gleichsetzung von ‚Entropie‘ mit ‚Zeitpfeil‘ umso prekärer macht – diesen Diskurs schlechthin begründet, wenngleich im Jahr 1824 noch *avant la lettre*. Als Carnot die Frage nach der optimalen Ausschöpfung thermischer Energie anging, ersann er eine Bewegung, die sich im Kreis dreht, da sie stillsteht. Wird das T, S -Diagramm aus Abb. 8 zu einem Rechteck ergänzt, ergibt sich der sogenannte *Carnot-Kreisprozess*, an dem sich seither jede reale Wärmekraftmaschine in punkto Effizienz zu messen hat (Abb. 9).

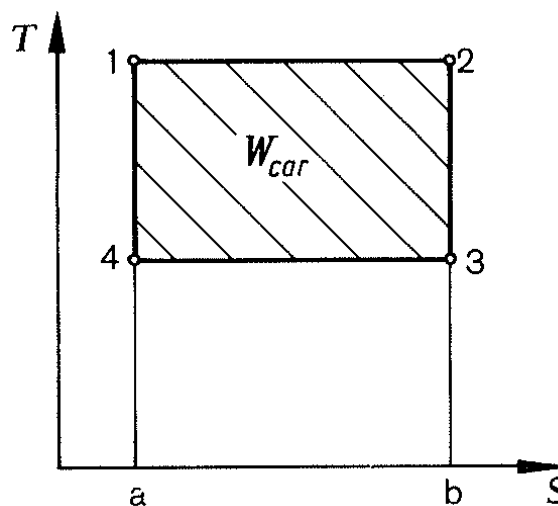


Abb. 9: Rechtslaufender *Carnot-Kreisprozess*, dessen Wirkungsgrad (schraffierte Fläche) von keinem thermodynamischen Prozess übertroffen werden kann

Carnots ideale Maschine arbeitet wie folgt: 1. Ein Gas steht in Kontakt mit einem kalten Wärmereservoir A (dem ‚Kühler‘), wodurch ihm, bei konstanter Temperatur, ein Wärmebetrag abgezogen wird. Hierdurch verringert sich sein Volumen (*isotherme Kompression*). 2. Daraufhin wird das Gas durch mechanische Arbeit – etwa durch eine Kolbenbewegung – verdichtet und damit auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Dieser Schritt wird als *adiabatisch und reibungsfrei* angenommen (*isentrope Kompression*). 3. Nun kommt die Substanz in Berührung mit einem heißen Wärmereservoir B (der ‚Heizung‘), womit ihm, unter denselben Bedingungen wie während des Schrittes 1, eine be-

³⁵³ Jonson 1631/2001, Akt IV, V. 231-232.

stimmte Wärmemenge zugeführt wird und sein Volumen sich dementsprechend vergrößert (*isotherme Expansion*). 4. Schließlich expandiert das Gas durch mechanische Arbeit und bei konstanter Entropie so lange, „bis der Ausgangszustand wieder erreicht wird“³⁵⁴ (*isentrope Expansion*).

Aus dieser Beschreibung wird ersichtlich, dass Carnots Maschine dem thermodynamischen ‚Zeitpfeil‘ vollkommen enthoben ist, denn nach Durchlaufen des Kreisprozesses sind „[a]lle Zustandsgrößen, wie Temperatur T , Druck p , Volumen V und innere Energie U [...] wieder so groß wie zu Beginn des Prozesses.“³⁵⁵ Dies zeitigt offenkundige Paradoxien, unter denen eine Wärmeübertragung ohne Temperaturänderung die Schillerndste sein dürfte und welche ihre Absolution einzig durch die Differentialrechnung erhalten.³⁵⁶ Somit gilt: Weil Carnots Maschine infinitesimal langsam zu laufen hat, ist sie inexistent; und gäbe es sie, wäre sie ein *perpetuum mobile*.³⁵⁷ Der *Carnot-Kreisprozess* markiert darum das uneinholbare Maximum an Arbeit, das durch eine beliebige Wärmekraftmaschine gewonnen werden kann, und die *isentrope* Transformation den Grenzwert des *Zweiten Hauptsatzes*.

Eine ideelle Maschine, die nie gebaut werden kann und an der sich gerade deshalb all ihre Realisierungen messen lassen müssen, ist ebenso die *Turing-Maschine* von 1936. Als Turing seinerseits die Frage anging, auf welche Basisoperationen sich beliebige Rechenvorgänge reduzieren lassen, antwortete er mit einer Maschine, die nichts anderes tut als Symbole zu lesen, zu schreiben und zu löschen. Dies tut sie auf einem Band, das unendlich lang ist, womit sie eine größere Speicherkapazität hat als alle physikalischen Rechenmaschinen, die ihr nachempfunden sind.³⁵⁸ Die Pointe, um die es nun gehen soll, ist, dass Turings Maschine, wenngleich so unreal wie diejenige Carnots, deren grundlegendes Phantasma einer kreisförmigen Rückkehr zu einem vergangenen Zustand durchaus umsetzt, selbst dann, wenn sie zu ihrer realen Implementierung findet – nämlich als „der

³⁵⁴ Ettler 2009, 6. Die hiesige Beschreibung der *Carnot-Maschine* orientiert sich an einer zeitgemäßen Darstellung (vgl. ebd.), da dieser im Unterschied zu Carnot explizit der Begriff der ‚Entropie‘ zur Verfügung steht. Zur Beschreibung im Urtext siehe Carnot 1824/1995, 12f.

³⁵⁵ Ettler 2009, 6.

³⁵⁶ „Man wird vielleicht erstaunt sein, dass der Körper [...] bei derselben Temperatur, wie sie der Dampf hat, diesen verdichten kann; dies ist zweifellos streng genommen nicht möglich; da aber die kleinste Temperaturverschiedenheit die Condensation hervorrufen wird, so reicht dies aus, um die Richtigkeit unserer Betrachtung zu bewähren. Ganz ähnlich genügt es in der Differentialrechnung, dass man sich die vernachlässigten Größen als ins Unendlichkleine abnehmend im Verhältniss zu den in den Gleichungen beibehaltenen Größen denken kann, um die Gewissheit eines endgültigen Resultats zu erhalten.“ (Carnot 1824/1995, 12, Fußnote).

³⁵⁷ Vgl. Kassung 2001, 139, Anm. 20.

³⁵⁸ Vgl. Turing 1936/2004, 58-61.

Inbegriff von Schleifen und Wiederholungen, In-sich-Zurückkehren und rekursiven [...] Bewegungen³⁵⁹.

Betrachten wir hierfür etwas genauer, wie besagte Maschine arbeitet. In ihrer ‚universellen‘ Form findet sich auf den geraden Feldern des Bandes das Programm gespeichert, auf die ungeraden trägt sie, vollständig vom *input* determiniert, die Symbole (*output*) auf.³⁶⁰ Folgendes Programm, der Transparenz halber in tabellarischer Form notiert, würde eine unendliche Folge sich abwechselnder Nullen und Einsen drucken (*Abb. 10*):

<i>Configuration</i>		<i>Behaviour</i>	
<i>m-config.</i>	<i>symbol</i>	<i>operations</i>	<i>final m-config.</i>
b	None	P0, R	c
c	None	R	e
e	None	P1, R	f
f	None	R	b

Abb. 10: Programm einer *Turing-Maschine*, dessen erste Zeile wie folgt zu lesen ist: ‚Wenn sich die Maschine im Zustand *b* befindet und das Feld, das sie gerade liest, leer ist (*none*), dann drucke sie eine 0, rücke ein Feld nach rechts (*R*) und trete in den *c*-ten Zustand über.‘

Das hiermit verbundene zeitphilosophische Paradox ist offenkundig. Das Programm der *Turing-Maschine* ist endlich, im obigen Fall aus gerade einmal vier Zeilen bestehend, die hiervon gesteuerte Datenausgabe jedoch unendlich. Möglich wird dies durch den Wiederaufruf des Ausgangszustandes *b* durch den entsprechenden Befehl am Tabellenende. Das aber bedeutet, dass sich die Maschine während ihres Prozesses, beliebig oft, immer wieder in ein und demselben logischen Zustand *b* befinden muss. Solch ein Verhalten kann sowohl im Kontext der thermodynamischen Episteme als auch mit einem Begriff aus der Berechenbarkeitstheorie *zirkulär* genannt werden.³⁶¹ So fügt es sich, dass bereits bei Boltzmann das Phantasma eines *perpetuum mobile* sich wie die Beschreibung einer *Turing-Maschine* annimmt: Unmöglich sei es, „ein Körpersystem zu konstruieren, welches, nachdem es verschiedene Zustände durchlaufen hat, periodisch wieder zum ursprünglichen Zustand zurückkehrt [...]“.³⁶² Dies aber ändert sich, sobald an die Stelle eines Boltz-

³⁵⁹ Sander/Wiener 2005, 215f.

³⁶⁰ Vgl. Turing 1936/2004, 63.

³⁶¹ Vgl. Krämer 1988, 165.

³⁶² Boltzmann 1886/1979, 44.

mann'schen ‚Körpersystems‘ eine Maschine tritt, deren ‚Zustände‘ nicht mehr materiell, sondern logisch-arithmetisch codiert sind.

Im Duktus der zeitgenössischen Physik, die mit *isentropen* Prozessen immerhin theoretisch rechnet: „A reversible process implies that the initial state can be accessed from the final state, and the final state from the initial state by a sequence of adiabatic (isentropic) processes.“³⁶³ Durch Shannons terminologische Identifikation von physikalischer und symbolischer Entropie lässt sich nun die *sequence* von Schritten innerhalb des Programms einer *Turing-Maschine* tatsächlich *isentrop* nennen, da das Vor- und Zurückgehen des Schreib- und Lesekopfes keine Umorganisation des *input*-Alphabets – und damit Änderung der Informationsentropie – auf dem unter ihm befindlichen Band zur Folge hat, denn sonst wären Subroutinen innerhalb des Programmablaufes nicht reproduzierbar. Die Zeichenfolge bleibt *stabil*, und eine Wiederkehr zu einem vorangegangenen Zustand ist selbst realen *finite-state*-Maschinen nicht nur möglich, sondern die Regel dessen, was in der Berechenbarkeitstheorie eine *rekursive Funktion* heißt.³⁶⁴

Es ist wichtig, sich den Unterschied zwischen einem *rekursiven Programmaufruf* und einer kybernetischen *Rückkopplung* zu vergegenwärtigen.³⁶⁵ Bei dieser wird, in Wieners Worten, „dem Ausgangssignal einer Maschine ein bestimmter Informationsbetrag entnommen und so mit dem Eingangssignal kombiniert, daß sich die Differenz beider Signale verringert“³⁶⁶. Das Verb ‚verringern‘ zeigt an, wie labil durch *feed-back* hervorgerufene Stabilisierungen sind, wohingegen nur das maximal-entropische Gleichgewicht, das

³⁶³ Marriage 1998, 2.

³⁶⁴ Im Unterschied zu *zirkulären* enthalten *rekursive* Rechenvorschriften eine Abbruchbedingung. Siehe zur Begrifflichkeit Krämer 1988, 165 sowie zur formalen Äquivalenz von *rekursiver Berechenbarkeit* und *Turing-Maschinisierbarkeit* Copeland 2004, 44 respektive Turing 1937/2004, 88-90. Periodische Bewegungen auf einer Symbolkette wurden bereits früher, nämlich am selben disziplinären Ort erwogen, an dem schon Schleiermacher Text und Tod ineins gesetzt hatte. Dessen Schüler Wilhelm Dilthey gelangte von der Frage, wie Hermeneutik, wenn sie auf das flüchtige Reale trifft, überhaupt möglich ist, zu einer Verschriftlichungspflicht – denn „auch angestrengteste Aufmerksamkeit kann nur dann zu einem [...] Vorgang werden, in welchem ein *kontrollierbarer* Grad von Objektivität erreicht wird, wenn die Lebensäußerung fixiert ist und wir so *immer wieder zu ihr zurückkehren können*.“ (Dilthey ⁴1957, 319 – Hervorhebung M. W.)

³⁶⁵ Erst recht dürfen Umkehr und Wiederaufruf im Digitalen nicht mit analogtechnischer *Zeitachsenmanipulation* verwechselt werden, wie sie erstmals mit Erfindung des Phonographen machbar wurde. Phonographen können zwar den Anschein erwecken, dass die Zeit für einen Moment ‚rückwärts‘ laufe, doch erfährt die Tonwalze bei jeder Zeitachsenumkehr, weil diese eine Kurbelbewegung voraussetzt, selbst einen Reibungsverlust.

³⁶⁶ Wiener 1948/2002, 165. Wiener bezieht in seine Betrachtungen lediglich Prozesse der *negativen Rückkopplung* ein. Steve J. Heims betont, dass die sukzessive fortschreitende, also ihrerseits *irreversible* Komplexitätszunahme in lebenden Organismen, die evolutionären Prozessen zugrunde liegt und auf deren Erklärung – was die hier versuchte Abbildung der *Kybernetik* auf den Diskurs der *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* untermauert – auch Wieners Kybernetik abziele, mit diesem Modell nicht erfasst werden kann. Stattdessen sei hier jener Prozess zu beobachten, den Wiener lediglich als (zer-)störend aufgefasst habe: unidirektionale Verstärkung, mithin *positive Rückkopplung* (vgl. Heims 1989, XIVf.).

biophysikalisch dem *Tod* entspricht, wirklich stabil ist.³⁶⁷ So laboriert Wieners *Rückkopplung* an einer realen Obergrenze wie Carnots idealer Kreisprozess: „Es gibt einen oberen Grenzwert für die Stärke der Rückkopplung, d. h. wenn der zu regulierende Apparat eine zu große Zeitdifferenz aufweist, dann wird er möglicherweise in ein spontanes Oszillieren geraten.“³⁶⁸ Auf Basis allein solch *metastabiler* Regulierungen, deren Ist-Wert permanent von Schwankungen bedroht ist,³⁶⁹ lässt sich kein Digitalrechner bauen. Das kybernetische „Rückkopplungsprinzip, wenn es je technisch wurde, brachte keine Computerarchitekturen hervor, sondern intelligente Roboter und medizinische Prothesen“³⁷⁰ – Anwendungen also, die auf kontrollierende Umweltinteraktion abzielen und nicht auf kontrollierten Symbolismus.

Eine Passage aus Gilles Deleuze' *Postskriptum über die Kontrollgesellschaften* nimmt sich wie eine literarische Montage dieser divergenten Kontrollformen an. Erster Teil: „Il n'y a pas besoin de science-fiction pour concevoir un *mécanisme de contrôle qui donne à chaque instant la position d'un élément en milieu ouvert*, animal dans une réserve, homme dans une entreprise (collier électronique).“³⁷¹ Ersetzt man im hervorgehobenen Teil den Begriff ‚Milieu‘ durch das Wort ‚System‘, ergibt sich zunächst eine geradezu passgenaue Definition des *Maxwell'schen Dämons*.³⁷² Tiere und Menschen wiederum, also das ‚Lebewesen‘ (*animal*) in Wieners Buchtitel – sie zu messen, mithin Information über sie zu gewinnen, entspricht vollkommen der Agenda von dessen *Kybernetik*. Im zweiten Teil des Zitats verschärft sich das Paradigma jedoch. „Félix Guattari imaginait une ville où chacun pouvait quitter son appartement, sa rue, son quartier, grâce à sa carte électronique (dividuelle) qui faisait lever telle ou telle barrière [...]“³⁷³: Wenngleich die Schranke (*barrière*) erneut an Maxwell erinnert, wird keine Verzifferung auf einer Chipkarte (*carte électronique*) jemals die ‚Messung‘ einer Wohnung, einer Straße oder eines Wohnviertels darstellen. Also regist

³⁶⁷ Vgl. Kassung 2001, 292.

³⁶⁸ Wiener 1948/2002, 165f.

³⁶⁹ Der Begriff ‚Ist-Wert‘ kann synonym zum kybernetischen ‚wirklichen Systemzustand‘ verstanden werden, siehe dazu Petruschenko 1960/1962, 22: „Die Steuerung nach dem Prinzip der negativen Rückmeldung stellt einen Vorgang dar, der entgegen dem Einfluß von Hemmungen oder Störungen auf das System erstens bestrebt ist, den Unterschied zwischen dem wirklichen und dem vorgegebenen Systemzustand zu verringern, und zweitens aufgrund dieses Unterschieds stattfindet.“ (Hervorhebung im Original)

³⁷⁰ Kittler 1994/2004, 54.

³⁷¹ Deleuze 1990, 246 – Hervorhebung M. W.

³⁷² Obwohl Maxwells Dämon in einem abgeschlossenen System positioniert ist, muss das Adjektiv ‚offen‘ (*ouvert*) hinter ‚milieu‘ keine Ersetzung durch den Terminus ‚geschlossen‘ erfahren, damit die Übertragbarkeit gewährleistet ist. Wie in Kapitel 4.1 aufgezeigt, gilt für *reale* Messungen, im Unterschied zu Maxwells Fiktion: *Sobald ein System gemessen wird, ist es nicht mehr abgeschlossen.*

³⁷³ Deleuze 1990, 246.

hier, mit Shannon, das vom Physikalisch-Biologischen abgekoppelte Symbolische, welches sich gleichwohl in maschinelle Befehlsgewalt implementieren lässt. Hiervon handelt der dritte Teil des Zitats: „ce qui compte n'est pas la barrière, mais *l'ordinateur qui repère la position de chacun*, licite ou illicite, et *opère une modulation universelle*.“³⁷⁴ Eine vollständige Beschreibung von Zuständen, die eineindeutige Positionierung dieser Zustände im Gesamtprozess, schließlich die beliebige ‚Modulation‘ oder Verarbeitung derselben durch Kombinatorik – nichts anderes tut Turings universelle Rechenmaschine.³⁷⁵

Um darlegen zu können, *warum* nun einer symbolischen wie der *Turing-Maschine* eine Zeitweise möglich ist, die dem Realen bis zum Advent der molekularen *Poincaré-Wiederkehr* vorenthalten bleiben muss, sei an dieser Stelle ein kurzer Rekurs auf die romantische Hermeneutik, also die Zeit Schleiermachers unternommen. Folgt man Friedrich Kittler, so hat nämlich die von Schleiermacher als ‚Tod‘ kodifizierte Entkörperlichung im Medium Schrift einer bestimmten literarischen Motivatik seiner Zeit nachgerade in die Hände gespielt. Demnach

war das Individuum von 1800 bloß ein individuelles Allgemeines und das heißt keins. Der Grund liegt auf der Hand: in den technischen Bedingungen der Zeit. Meister und sein Graf, Goethe und seine Leser – alle konnten sie an Doppelgänger glauben, einfach weil Wörter keine Singularitäten bezeichnen. Nicht einmal das Wort *Doppelgänger* selber. Und andere Speichermedien als Wörter gab es in klassisch-romantischen Tagen nicht.³⁷⁶

Ebenso sind Zustände in digitalen Maschinen keine ‚Singularitäten‘, sondern Abstraktionen von der konkreten Ausführung durch das physikalische System. Anders gesagt: Mit Blick auf die konkreten, materiellen Rechenmaschinen kommt „[die Zeit] nicht zu sich selbst zurück“³⁷⁷, ist also jeder Zustand thermodynamisch einmalig, aus Sicht des Programmcodes jedoch *gleichursprünglich* und beliebig reproduzierbar. Auch heute, knapp 80 Jahre nach Turings *On computable numbers*, kalkuliert kein Quelltext jemals den Wärmetransfer innerhalb des physikalischen Systems ein, in dem er ausgeführt wird. Was Kittler als Bedingung für das Doppelgängermotiv der romantischen Literatur entziffert, gilt so auch für die theoretische Informatik. Die Entkopplung vom Realen erlaubt es der uni-

³⁷⁴ Ebd. – Hervorhebung M. W.

³⁷⁵ Dies verbindet *Turing-Maschinen* mit dem Determinismus von Newtons Bewegungsgleichungen in dem Maße, wie es sie vom ‚Entropiediskurs‘ trennt. Während exakte Prognosen über ein ‚Vielteilchensystem‘ unmöglich sind, da, qua *Irreversibilität*, in dessen thermodynamischer oder statistischer Betrachtung „die Zukunft [...] nicht länger in der Gegenwart enthalten“ (Prigogine/Stengers 1990, 283) ist, gilt für *Turing-Maschinen*, dass „[e]ven when we consider the actual physical machines instead of the idealised machines, reasonably accurate knowledge of the state at one moment yields reasonably accurate knowledge any number of steps later.“ (Turing 1950/2004, 447)

³⁷⁶ Kittler 1993b, 86 – Hervorhebung i. O.

³⁷⁷ Liedtke 2009, 16.

versellen *Turing-Maschine*, erstens jede andere Maschine zu sein und zweitens sie selbst zu einem vergangenen Zeitpunkt: „There is nothing wrong with the idea of a [Turing-]machine starting to simulate its own previous behaviour [...]“³⁷⁸ Wieviel von diesem Paradox in zeitgenössischer Digitaltechnik fortbesteht, zeigt etwa die jedem *Personal Computer* eigene Möglichkeit der ‚Systemwiederherstellung‘. Solch Zeitlosigkeit war der biophysikalisch imprägnierten Kybernetik Wieners weder formalisier- noch denkbar. „In diesem Sinne“, verkündet etwa dessen im Shannon-Kontext *oxymoronisch* betitelter Aufsatz *Zur Thermodynamik der Nachricht*, „entspricht die Wiederherstellung einer Nachricht dem Versuch, aus einem Rührei wieder ein Ei zu machen.“³⁷⁹ Dies gilt für Rundfunksignale, nicht jedoch für symbolisch gesteuerte Schaltzustände.

Damit kann die fundamentale Diskontinuität, die das Analoge vom Digitalen im zeitgenössischen Sinne trennt, auf das Jahr 1936 datiert werden. Die sogenannten Analogmedien, ob sie nun Film oder Fernsehen, Phonograph oder Radio heißen, gehorchten im Moment ihrer Genese durchweg jener Definition moderner Technik, wie sie Martin Heidegger vorgeschlagen hat: in der Herausforderung oder Befragung eines Realen mit Hilfe von Apparaturen. Wie die Versuchsanordnungen der Experimentalphysik traten sie an zur „Befragung, ob sich die so gestellte Natur und wie sie sich meldet“³⁸⁰. Die physikalischen Phänomene, die von Analogmedien für die Datengewinnung ausgenutzt wurden, existierten durchweg vor Erfindung besagter Medien: elektromagnetische Wellen, chemische Reaktionen, Vibrationen von Schall. Es bedurfte bloß passender Apparate, um Kontrolle über sie zu gewinnen. Deshalb hat Wieners ‚Ordnung aus Unordnung‘-Modell ein Privileg auf sie, wohingegen es für eine Formalisierung digitaler Codes unzuständig wird.³⁸¹

Am Anfang des Computers dagegen stand reine Theorie in Form eines Symbolismus (Turing), der von vornherein von jedem Trägermedium abstrahiert hatte³⁸²: eine Verket-

³⁷⁸ Copeland 2004, 32.

³⁷⁹ Wiener 1955/2002, 117.

³⁸⁰ Heidegger 1953/1990, 22.

³⁸¹ Selbst wenn die Ebene der Codierung ausgeblendet und einzig die *materielle* Inskription fokussiert wird, mithin der Blick von der Informations- auf die physikalische Entropie übergeht, lässt sich nicht behaupten, dass Symbolspeicherung *per se* eine Entropiesenkung im Speichermedium zur Folge hätte. Im Falle von Symbolen, die in Sand gekratzt werden, ist tatsächlich eine *negativ entropische* Bewegung zu beobachten, da die Sandkörner ganz bestimmte Positionen einnehmen müssen, um zu einer motivierten Form zusammenzufinden. Die Entropie einer wahllos herausgegriffenen Handvoll Sand wäre höher, da dieselbe Anordnung durch diverse Rekombinationen der Sandkörner hervorgebracht werden könnte. Bei Symbolen, die mit Tinte auf ein Blatt Papier aufgetragen werden, gilt jedoch das Gegenteil, da im Schreibakt das Volumen des Phasenraums ‚Papier/Tinte‘ und damit die Komplexionszahl *P* erhöht wird.

³⁸² Vgl. Hagen 1999, 133.

tung von diskreten Zeichen, die in ganz verschiedenen Materialitäten realisiert werden können. Mit Turing hat die Medienentwicklung gewissermaßen eine Rückwärtsbewegung vom Realen hin zum Symbolischen genommen, von einer Vorgängigkeit der Natur zu einer Vorgängigkeit der ‚Nachricht‘. Damit wurde eine Theorie von Schriftlichkeit reaktiviert, die mindestens bis Schleiermacher zurückverfolgt werden kann. Allein, für ihre Praxiswerdung musste der immer schon entkörperlichte digitale Code wiederum in Maschinen verkörpert werden, die, gerade deshalb, in ihren Zeitweisen nichts mehr mit den Maschinen des analogtechnischen Interregnums verbindet. „The informatization of knowledge is only possible because informatics [...] is a kind of writing.“³⁸³ So kommt es, dass jeder Computer in zwei Registern operiert: einem physikalischen, also dem Entropiesgesetz ausgelieferten, und einem transmateriell-logischen. Zwar sind auch formale Schaltpläne eines Filmprojektors möglich. Der Input, der auf Zelluloid gespeichert ist, bleibt von diesem Formalismus jedoch notwendig ausgenommen. Auf seiner Seite stehen unkontrollierbarer Entropiezuwachs, Zufallsrauschen und inkrementeller Zerfall.

Hiermit können nun Texte aus anderen disziplinären Kontexten und Zeiten vom Anschein ihrer Metaphorizität befreit werden. „Das ganze Kriegführen“, formuliert Carl von Clausewitz in seiner Schrift *Vom Kriege*, „gleicht der Wirkung einer zusammengesetzten Maschine mit ungeheurer Friktion, so daß Kombinationen, die man mit Leichtigkeit auf dem Papier entwirft, sich nur mit großen Anstrengungen ausführen lassen.“³⁸⁴ Was hier angelegt ist, ist die prophetische Unterscheidung zwischen einer stofflich-energetischen und einer symbolisch gesteuerten Maschine: Anders als auf dem Schlachtfeld gibt es ‚auf dem Papier‘, also zwischen Symbolen, keine Reibungsverluste. Mag der Krieg ferner eine Situation sein, wo der Tod an jeder Stelle droht, sind es doch gerade die – entropieerhöhenden – *Friktionen*, von denen Clausewitz spricht, die ihn im Leben verorten. Im Sinne der hiesigen Gesamtargumentation ließe sich formulieren: Im Realen gefochtener Krieg verdichtet exakt jene Paradoxie, wie sie Heidegger, Schrödinger und Wiener in ihren Lebensdefinitionen durchdacht haben – *Sein zum Tode* als Aufschub des Todes. Die ‚großen Anstrengungen‘, die Clausewitz erwägt, entsprechen insofern dem Transfer *negativer Entropie* in das System ‚Krieg‘.

³⁸³ Stiegler 2008, 108.

³⁸⁴ Clausewitz 1832-1834/1957, 809.

Auch dass bei Lacan und in dessen Rezeption mehrfach davon die Rede ist, dass „Information zirkuliert“³⁸⁵, erscheint, ausgehend vom Begriff des *Kreis*prozesses, in physikalisch fundiertem Licht. „Auf der gegenüber der physikalischen Wirklichkeit autonomen Ebene der Turing-Maschinen, des Symbolischen und der Sprache ist die reibungslose Zirkulation von Informationen möglich (wie in einem Perpetuum mobile)“³⁸⁶; und tatsächlich ist *Reibungsfreiheit* die Bedingung für energetische Maschinen, um kreisförmig zu einem vorherigen Zustand zurückzufinden.

In der Gegenüberstellung von *Carnot-* und *Turing-Maschine* stößt die *metaphorische* Rede vom ‚Tod durch Digitalisierung‘ also eine *formale* Analogie in jener Weise an, wie schon die Paradigmen von Entkörperlichung und Stabilität innerhalb der Shannon-Entropie ineinandergefaltet waren: Indem Symbole *als* Symbole, das heißt nicht als Tinte oder Russischbrot, weder über Masse noch Energie verfügen und damit Effekt sind von Lacans ‚Mord der Sache‘,³⁸⁷ darf die *Turing-Maschine* in einer Logik operieren, die Carnots Maschine praktisch nur im Status der „absurdity of an engine functioning with infinite slowness, that is, a quasi-immobile engine“³⁸⁸ einhalten könnte – der formal identisch ist mit ‚Tod‘ in der physikalischen Definition.

³⁸⁵ Lacan 1991b, 219.

³⁸⁶ Langlitz 2004, 125.

³⁸⁷ Anhand der Binarität von ‚Leben‘ und ‚Tod‘ lässt sich nun folgende Diagnose Friedrich Kittlers epistemologisch zuspitzen: „Aber ganz wie zwischen Hegel und Freud (laut Lacan) Watts Erfindung des Dampfmaschinen-Fliehkraftreglers als erster negativer Rückkopplungsschleife [...] die Zahlenbasis auch von Freuds gesamter Triebökonomie liegt, so tritt zwischen Freud und Lacan der Computer, Alan Turings Universale Diskrete Maschine von 1936.“ (Kittler 1993c, 65) Am Prominentesten tritt diese Kluft, bezeichnenderweise, in den unterschiedlichen Theorien der neurotischen *Wiederholung* hervor, wie sie Freud und Lacan vorbringen. Jener prägte den Begriff des *Wiederholungszwanges* aus seiner Erfahrung mit Patienten, die schmerzhaft Episoden ihrer Vergangenheit, etwa in Träumen, immer wieder reproduzieren. Freud erklärte dies mit der paradoxen Disposition eines *Todestriebes*, also dem Bestreben des Organismus, Spannungen abzubauen und letztlich in den Zustand anorganischer Materie überzugehen – die strukturelle Nähe zum *Zweiten Hauptsatz* ist evident. Für ausdrücklich damit vereinbar erklärte Freud allerdings das *Lustprinzip* als Motor einer vitalistischen Triebregulierung, als deren Modell in Kittlers Diktion die negative Rückkopplung fungiert. Damit aber, so kann die Analogie zur modernen Physik nun spezifiziert werden, griff Freud gewissermaßen der Episteme der *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* vor: Das *Lustprinzip* entspricht der Herstellung *stationärer Nichtgleichgewichtszustände* oder von *Homöostase*, während der Tod – wie später bei Schrödinger und Wiener – nur als Grenzwert am Ende dieser Bestrebungen auftritt und jenseits jeglicher Erfahrbarkeit liegt. Dagegen deutete Lacan den *Wiederholungs-* in einen *Wiederholungsautomatismus* um und nahm dabei ausdrücklich Maß an den Prozessweisen symbolischer Rechenmaschinen: Das Unbewusste sei demnach ein Gedächtnis, in dem „bestimmte Symbolketten gespeichert [sind], an deren Beschaffenheit das Subjekt wie durch einen Rückmeldungseffekt erinnert wird“ (Schmidgen 1997, 100). Wenn nun aber das Symbolische immer schon eine Mortifizierung durch den ‚Mord der Sache‘ voraussetzt, handelt es sich hierbei – im Unterschied zu den Theorien von Freud, Schrödinger, Wiener, Prigogine etc. – um einen *positivierten*, erfahrbaren Tod: „[...] wie kann der Mensch, das heißt ein Lebender, um diesen Todestrieb, um sein Verhältnis zum Tod wissen? Antwort – durch die Kraft des Signifikanten, und zwar in seiner radikalsten Form.“ (Lacan 1959-1960/1996, 352) Zur Unterscheidung zwischen *Wiederholungszwang* und *-automatismus* und deren thermodynamischem respektive digitaltechnischem Apriori vgl. Langlitz 1994, 110-143.

³⁸⁸ Stengers 1997, 203.

5.5.3. Rückwärtsrechnen: Über isentrope Computer

Vom thermodynamischen ‚Zeitpfeil‘ und seiner Herausforderung durch digitale Datenspeicherung und -übertragung ist diese Arbeit mit dem Begriff des *Isentropen* nun bei einer Figur von Zirkularität angelangt, die Newtons Mechanik in den thermodynamischen Formalismus selbst eingliedert. Der Vorschlag der letzten zwei Kapitel lautete, symbolische Rechenprozesse *analog* zu diesen nur mehr theoretischen, da *reibungsfrei* verlaufenden thermodynamischen Transformationen zu beschreiben. Damit mag der Eindruck entstanden sein, der ‚digitale Code‘ hätte sich, in der hiesigen Beschreibung, nun maximal vom ‚physikalisch Faktischen‘, also Realen entfernt. Die epistemologische Pointe jedoch ist, dass gerade die Informatik, also die Wissenschaft besagten Codes, Anstrengungen unternommen hat, eine *symbolische* auch in *physikalische* Zeitlosigkeit umzuwandeln. Die leicht dialektischen Prämissen lauten hierbei, dass es bereits in der Logik irreversible Prozesse gibt; dass diese, einmal in Hardware implementiert, mit einer *thermodynamischen* Irreversibilität einhergehen; und dass *beide* Typen von Unumkehrbarkeit durch die strukturelle Verzahnung von experimentellen Programmiertechniken *und* Rechnerarchitekturen unterlaufen werden können. Die Rede ist vom Versuch, eine sogenannte *reversible computation* im Realen durchzuführen.

Am Anfang steht eine Einschränkung, die auch das zurückliegende Kapitel berührt, denn *Turing-Maschinen* gehen nicht zwangsläufig in der reversiblen Zeitstruktur eines quasi-mechanischen *Carnot-Kreisprozesses* auf. Bereits ‚auf Papier‘, also in ihrer rein formalen Beschreibung, ist jede Rechenmaschine prinzipiell von einer „logical irreversibility“³⁸⁹ bedroht. Das Problem besteht darin, dass *Turing-Maschinen* zwar in Hinblick auf ihr *futurisches* Verhalten vollkommen deterministisch sind, denn „at each stage the motion of a machine [...] is completely determined by the configuration [...]“³⁹⁰, der *präteritische* Umkehrschluss jedoch nicht ohne Einschränkung gilt. Denn „typical Turing machines, like other computers, often throw away information about their past, by making a transition into a logical state whose predecessor is ambiguous“³⁹¹. Anders gesagt, eine Rechenoperation ist *logisch irreversibel*, sobald ein beliebiger Maschinenzustand aus verschiedenen vorangegangenen Zuständen hervorgegangen sein könnte, die Information über seine ‚Geschichte‘ jedoch bereits aus dem Speicher gelöscht wurde. Die Differenz zwischen *re-*

³⁸⁹ Landauer 1961/1990, 188.

³⁹⁰ Turing 1936/2004, 60.

³⁹¹ Bennett 1982/1990, 217.

versiblen und irreversiblen Rechengvorgängen ist demnach jene zwischen einer *one-to-one*- und einer *many-to-one*-Trajektorie (Abb. 11):

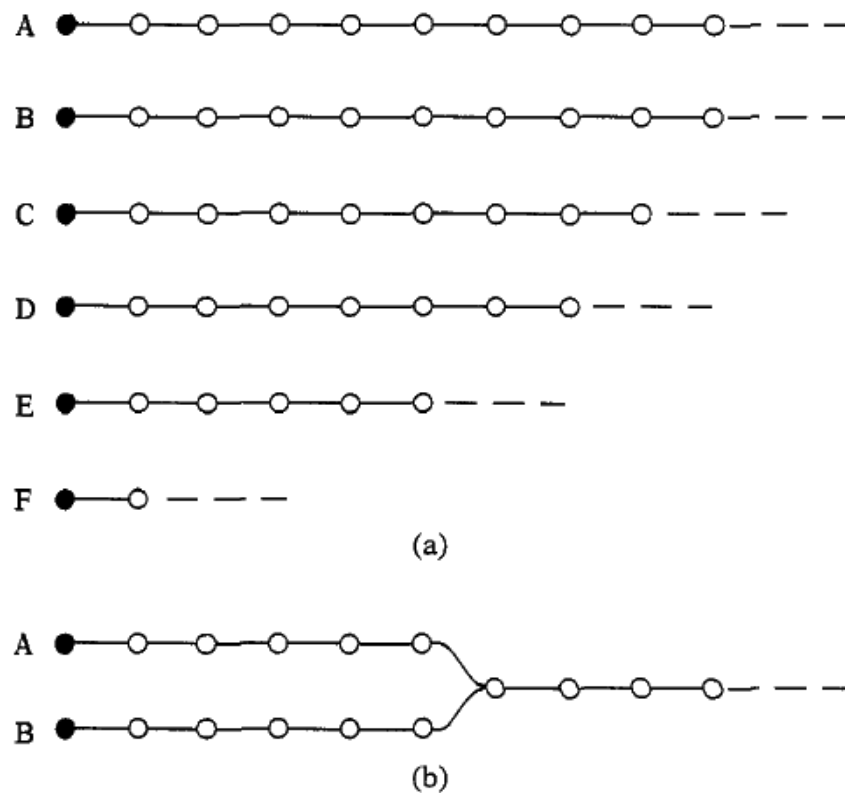


Abb. 11: Reversible (a) und irreversible (b) Berechnung

Rolf Landauer ist im Jahr 1961 erstmals den entscheidenden Schritt gegangen, diese *logische* mit einer *physikalischen* Irreversibilität im Sinne des *Zweiten Hauptsatzes* schlichtweg zu identifizieren, als er den Blick von idealisierten auf physikalische Rechenmaschinen lenkte:

We shall call a device *logically irreversible* if the output of a device does not uniquely define the inputs. We believe that devices exhibiting logical irreversibility are essential to computing. Logical irreversibility, we believe, in turn implies physical irreversibility, and the latter is accompanied by dissipative effects.³⁹²

Mit anderen Worten, der thermodynamisch *irreversible* Akt in digitalen Rechenmaschinen heißt nicht Schreiben oder Lesen, sondern *Zurücksetzen des Speichers*.³⁹³ Erneut Landauer:

According to the second law of thermodynamics, every bit lost through irreversible computation is shed as a minuscule puff of heat. In a modern digital computer, this shedding of information occurs at every step in long, rapid chains of calculations. Seemingly useless intermediate results are discarded to reset the memory registers, adding to the heat that must be removed from the machine to keep the parts from malfunctioning.³⁹⁴

³⁹² Landauer 1961/1990, 191 – Hervorhebung i. O. Dieses Theorem, auch *Landauer's Principle* genannt, wurde im Jahr 2012 erstmals experimentell bestätigt (siehe Bérut/Arakelyan/Petrosyan/Ciliberto/Dillenschneider/Lutz 2012).

³⁹³ Vgl. Leff/Rex 1990, 21.

³⁹⁴ Landauer 2003, 985.

Sämtliche Ansätze, die unter den Begriff *reversible computation* gefasst werden, bestehen nun in Versuchen, besagte „thermodynamic cost of forgetting“³⁹⁵ auf den Wert 0 zu setzen. Eine theoretische Option lautet, an *Turing-Maschinen* ein zusätzliches *history tape* anzuschließen, auf dem die Maschine durchgehend Protokoll über sämtliche logischen Übergänge während ihres Rechenprozesses führt.³⁹⁶ Die radikalere und innerhalb des Diskurses um *reversible computation* erstrebte Methode sieht jedoch vor, Löschvorgänge komplett aus den Algorithmen auszuschließen und sich für die Implementierung – denn, so das grundlegende Desiderat, „computers and physics should be more like each other“³⁹⁷ – an einer *reversiblen Physik* zu orientieren. So heißt es bei Charles Bennett, der ebenso wie Landauer bei den *IBM Research Laboratories* über die physikalischen Grenzen von digitaler Komputierbarkeit geforscht hat:

A proof of the thermodynamic reversibility of computation requires not only showing that logically irreversible operations can be avoided, but also showing that, once the computation has been rendered into the logically reversible format, some actual hardware, or some physically reasonable theoretical model, can perform the resulting chain of logically reversible operations in a thermodynamically reversible fashion.³⁹⁸

So erschließt sich, warum die seitens der Thermodynamik längst *ad acta* gelegte *Newton'sche Mechanik* für die experimentelle Informatik auf einmal wieder modellbildend wurde. Ein hierfür wegweisendes Gedankenspiel ist das in den frühen 1970er Jahren von Edward Fredkin entwickelte *billiard-ball model of computation*: Auf die grüne Fläche eines Billardtisches wird ein Gitternetz gespannt, wobei die An- oder Abwesenheit einer Kugel innerhalb der Felder die logischen Zustände ‚0‘ und ‚1‘ designiert. Sodann stoßen die Kugeln, gesteuert durch stilisierte ‚Spiegel‘, die den Hebeln eines Flipperautomaten nachempfunden sind, im Takt des logischen Problems aneinander, und dessen Lösung ist aus der finalen Anordnung auf dem Spielfeld ablesbar.³⁹⁹ „With a friction-free table surface and perfectly elastic billiard balls, a Fredkin computer would operate with no loss of energy.“⁴⁰⁰

Solch Hoffnung mag im Kontext einer modernen Physik, die den thermodynamischen ‚Zeitpfeil‘ als ‚Pfeil des Lebens‘ und *Irreversibilität* als die unhintergehbare Regel des Naturgeschehens definiert hat, zunächst ähnlich anachronistisch anmuten wie Carnots

³⁹⁵ Ebd.

³⁹⁶ Vgl. Bennett 1982/1990, 230-232.

³⁹⁷ Bennett 1988/1990, 284.

³⁹⁸ Ebd., 283.

³⁹⁹ Vgl. Landauer 2003, 986.

⁴⁰⁰ Ebd.

reibungsfreie Maschine aus dem Jahr 1824. Allein: Es ist die digitale Medientechnologie – wie zur Bestätigung ihrer fundamentalen Zeitlosigkeit –, auf deren Feld die *Zeitumkehrinvarianz*, im völligen Bewusstsein des *Zweiten Hauptsatzes*, zur Jahrtausendwende im Realen erprobt wurde. Noch im selben Jahrzehnt also, wo die *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* gegen die „Unterdrückung aller Veränderung und jeglichen Fließens, obwohl dies doch die Phänomene sind, die im Zentrum der Theorie stehen und die letztlich kein Wissenschaftler umgehen kann“⁴⁰¹, anschrieb, schickten sich Informatiker am *Massachusetts Institute of Technology* an, eine *isentrop*e und damit *zeitlose* Rechenmaschine tatsächlich zu bauen.

Das Ziel war, besagtes *billard ball model of computation* in einem Siliziumchip namens *Flattop* abzubilden. Um nachvollziehen zu können, wie dies den Entwicklern am MIT gelang, sei zunächst die offenkundige Ähnlichkeit zwischen diesem Modell und jenen molekularen Stößen betont, deren idealisiertes Zeitverhalten das *Ergodenproblem* oder *Paradoxon der Irreversibilität* begründet hatte, wie es in Kapitel 3.1 der vorliegenden Arbeit dargestellt wurde. Was für die Thermodynamik jedoch ein Paradox oder eben Problem war, findet sich bei den *Flattop*-Entwicklern ins Positive gewendet: „Microscopic physical dynamics is fundamentally invertible, or *reversible* [...]. This suggests that the inner workings of an optimally efficient computer approaching the limits of physics need to be reversible as well.“⁴⁰² Bereits hieran wird ersichtlich, dass diese Methode nichts mit Information als ‚negativer Entropie‘ zu tun hat. Wiener hatte dieses Konzept, am Beispiel des *Maxwell'schen Dämons*, in einem makroskopischen Bezugsrahmens situiert, den es qua mikroskopischer Messung zu spezifizieren galt, und daraus folgte die Abnahme der Entropie. Die Entwickler von *Flattop* dagegen argumentieren von Anfang an innerhalb eines mikroskopischen Bezugsrahmens, in dem es *per definitionem* keine Entropieschwankungen geben kann.

Die Überlegung nun, wie sich stoßende Billardkugeln auf elektrische Spannungen zu *mappen* wären, kündigt schließlich jede *metaphorische* Verknüpfung zwischen Physik und Nachrichtentheorie auf – nicht zugunsten des *Zweiten Hauptsatzes*, sondern von prozeduraler *Code-Stabilität*:

If circuit nodes are charged and discharged gradually, under the control of redundant information stored in other circuit nodes, then the circuit can change state in an arbitrarily *adiabatic* fashion. Here, as in the study of heat engines, an adiabatic process is one that takes place without any heat flow into or out of the system.⁴⁰³

⁴⁰¹ Coveney/Highfield 1990/1992, 190.

⁴⁰² Frank/Vieri/Ammer/Love/Margolus/Knight 1998, 183 – Hervorhebung i. O.

⁴⁰³ Ebd., 184 – Hervorhebung i. O. Vertiefende Lektüre zu dieser Methode findet sich im Online-Textarchiv

Es ist brisant, wie die Autoren nicht etwa Newtons Bewegungsgleichungen auf ihre Chiparchitektur applizieren, sondern den thermodynamischen Diskurs quasi ‚von innen‘, also auf Basis von dessen eigenem Formalismus, seines zeitphilosophisch so entscheidenden Parameters ‚Entropieschwankung‘ zu entledigen suchen. Und obwohl die Autoren diesen Begriff vermeiden, lässt sich das, was innerhalb des *Flattop*-Chips passiert – da *adiabatische* und *reversible* Transformationen immer auch *isentrop* sind –, tatsächlich *isentropes Rechnen* nennen.

Diese Beschreibung ist noch eine ganz und gar physikalische. Es mag eingewendet werden, dass Shannons symbolistische Nachrichtentheorie weder für Billardkugeln noch für adiabatische Entladungen zuständig ist. Jedoch korrespondiert der oben beschriebene Vorgang sehr wohl mit einer Entropiekonstanz im Sinne des Shannon-Kalküls. Was *reversible computation* erfordert, ist zuallererst „a change in programming style: computations must be rendered *logically* reversible, so that no machine state has more than one logical predecessor.“⁴⁰⁴ Da hiermit ausgeschlossen wird, dass logische Ausgangsbedingungen während des Prozesses aus dem Speicher gelöscht werden, ist auch die Informationsentropie – als ‚Datenmenge‘ – über den Rechengang hinweg keinen Verlusten ausgesetzt.⁴⁰⁵ Wo symbolische Rechenoperationen, reversible Kugelbewegungen und Nullsummen in der Entropiebilanz zusammenfinden, sind das *Informations-Isentrope* und das *thermodynamisch Isentrope* nicht mehr eindeutig voneinander zu unterscheiden. Es ist eine Möglichkeit, im *Shift* hin zu reversibler Programmierung das *Symbolische* einfach als *realen* Notwendigkeiten angepasst zu denken und hieraus deren Suprematie abzuleiten, wie es – wenngleich mit anderen Worten – das Votum Landauers ist.⁴⁰⁶ Die andere Möglichkeit lautet, das *Symbolische* nun auch *real* in jener Zeitlosigkeit implementiert zu sehen, die seinem Wesen immer schon innewohnte.

Gewiss handelt es sich beim *Flattop*-Chip um experimentelle Hardware, die bis zum heutigen Tage nicht in Serienfertigung gegangen ist, da sie „less powerful than the chips that drove the first PCs“⁴⁰⁷ wäre; der auch die Entwickler zugestehen, dass kein physikali-

des MIT (<http://dspace.mit.edu>) unter dem Schlagwort ‚SCRL‘ (*Split-Level Charge Recovery Logic*).

⁴⁰⁴ Bennett 1982/1990, 213 – Hervorhebung i. O.

⁴⁰⁵ Thermodynamische und nachrichtentheoretische Entropie gehen in dieser Anordnung ein Spiegelungsverhältnis ein: Während das *Isentrope* für das physikalische System ‚Chip‘ bedeutet, dass dessen Entropie nicht *zunehmen* kann, gilt für den symbolischen Datenspeicher, dass seine Informationsentropie nicht *abnehmen* kann. Dass gleichwohl beide Ebenen, *Materie-* und *Code-Stabilität*, in ein und demselben System zusammenfinden, ist die Pointe des hier diskutierten Modellfalls *isentropen* Rechnens.

⁴⁰⁶ Siehe Landauer ⁴2003, 985.

⁴⁰⁷ Ebd., 986.

sches System gänzlich frei von Reibung und Dissipation ist, und deshalb prognostisch formulieren, dass die vollständige Einlösung des reversiblen Modells durch immer mikroskopischere Hardware, immer höhere Spannungslevel und immer niedrigere Temperaturen beliebig angenähert werden kann.⁴⁰⁸ Entscheidend am Beispiel *Flattop* jedoch ist – schließlich sucht vorliegender Text keine technologische Fortschrittsgeschichte zu schreiben –, wie maximal weit sich der informationstechnologische Diskurs, angetrieben vom Desiderat zeitlicher *Code-Stabilität*, auch in der Hardware-Entwicklung vom Stillstands-Pessimismus der modernen Physik entfernt hat. Diese hatte ‚lebendige‘ Bewegtheit als Negation eines drohenden Todes definiert; jener grenzt, umgekehrt, die Realisierbarkeit von *reversible computation* von allem Irreversiblen und damit thermodynamisch ‚Zeitlichen‘, mit einem Wort – ‚Lebendigen‘ ab: *Adiabatisch-reversible* und damit *isentropie* Computer streben das Paradox an, in einem Zustand, den die Thermodynamik als ‚Tod‘ designiert hat, dennoch Operationen auszuführen. ‚O for an engine to keep back all clocks‘ – wohl nirgendwo findet sich dieses Phantasma konsequenter durchdacht als in buchstäblich *zeitlosen* Maschinen wie Fredkins rechnendem Flipperautomaten oder einem ‚Billardchip‘ namens *Flattop*.

⁴⁰⁸ Vgl. Frank/Vieri/Ammer/Love/Margolus/Knight 1998, 184.

6. Schlussbemerkung

Die vorangegangenen Kapitel waren der Frage gewidmet, *warum der digitale Code buchstäblich zeitlos ist*. Anfangs war hierbei von einer Ort- und Zeitlosigkeit dieses Codes die Rede. Nach dem Gang von der platonischen Schrifttheorie und philosophischen Hermeneutik über Biophysik und Kybernetik hin zu Nachrichtentheorie und Informatik ist festzuhalten, dass ‚Raum‘ und ‚Zeit‘, diese schwerwiegenden philosophischen Signifikate, nichts sind, was sich digitaltechnisch erst in Zeiten von *Virtual Reality* oder allgemeiner *Computersimulation* herausgefordert fände. Vielmehr setzt auf der Code-Ebene alles Digitale, worunter zuallererst die alphabetische Notation fällt, diese Überwindung bereits voraus. In den eingangs diskutierten Texten von Platon, Schleiermacher und Gadamer fand sich diese entkörperlichende und entzeitlichende Tendenz des *digitalen Codes* bereits vorweggenommen.

Die Überwindung des *Phasenraumes*, so lässt es sich nun physikalisch wenden, ist notwendige Bedingung für die Überwindung des *Zeitpfeils*. Besagten ‚Raum‘ überwinden digitale Medien, da sie ‚Nachrichten‘ von ihrer materiellen Verkörperung loslösen. Dies ist die *eine* Seite dessen, was im begrifflichen Horizont dieser Arbeit als ‚Tod‘ gefasst wurde. *Zweitens* ist auf dieser Abstraktionsleistung eine Stabilität möglich, die alle irreversible ‚Zeit‘ – neben der materiellen Fundiertheit die zweite Bedingung von ‚Leben‘ – suspendiert. Folgende Übersicht fasst die grundlegenden Zeitweisen, die im Rahmen des vorliegenden Textes entscheidend waren, zusammen:

<i>a</i>	Geschlossene physikalische Systeme	$\Delta S_{\text{global}} > 0$	‚entropisch‘ ⁴⁰⁹
<i>b</i>	Offene physikalische Systeme	$\Delta S_{\text{lokal}} < 0$	negativ entropisch
<i>c</i>	Digitale Codes	$\Delta H = 0$	informations-isentrop

Während sich in der Faltung von *b* auf *a* das ‚Leben‘ im Sinne von Biophysik und Kybernetik ereignet, signalisiert Ausdruck *c*, indem er an Stelle des thermodynamischen *S* für die Entropie das Shannon'sche *H* setzt, dass es in der Beschreibung digitaler Codes nicht mehr um physikalische Organisationsniveaus geht, sondern um Symbolkonfigurationen.

⁴⁰⁹ Die Anführungszeichen sind aus dem Grund gesetzt, da der Begriff Entropie – was für die vorangegangenen Kapitel maßgeblich war – nicht mit ‚Zeitpfeil‘ oder ‚Strukturdegradation‘ gleichgesetzt werden darf. Aus pragmatischen Gründen übernimmt der vorliegende Text an dieser Stelle jedoch den gängigen Terminus ‚entropisch‘ im Sinne von ‚mit einer Entropieerhöhung verbunden‘.

Das Gleichheitszeichen im Entropiedifferential wiederum kodifiziert *Stabilität*, die – was es nachzuweisen galt – als vorherrschende Zeitweise digitaler Medien gelten darf. Das seitens der Schrifttheorie vorgegebene Konzept einer digitalen *Stillstellung* und *Entkörperlichung* konnte vorliegende Arbeit damit in eine Formel übertragen, womit für Platons Feststellung, dass Bücher ‚immer nur ein und dasselbe an[zeigen]‘, nun auch eine mathematische Entsprechung vorliegt.

Allerdings hatte die Metapher vom ‚Tod durch Schrift‘ bei ihren Urhebern stets einen pessimistischen Anstrich: Worum es ihnen ging, waren weniger Stillstandsphantasien, als vielmehr, die Schreckensvision einer symbolischen Arretierung durch lebendige Dialogik aufzuhalten. Streicht man hierbei den Begriff ‚symbolisch‘ und ersetzt ‚Dialogik‘ durch ‚Fluktuation‘, ergibt sich eine geradezu passgenaue Definition jener Denkrichtung, die seit den 1950er Jahren unter dem Banner *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* firmiert. *Stabilität* wird dort wahlweise als prekär, vernachlässigbar oder uninteressant angesehen, womit dieser Diskurs im Grunde die argumentative Linie Platons und Schleiermachers noch verschärft, indem er den *Stillstand* einzig als Negativum auffasst und, im Unterschied zur Schrifttheorie, selbst theoretisch kaum verhandelt.

Dagegen vollzieht sich auf den Gebieten von Nanophysik und Praktischer Informatik die umgekehrte Bewegung – eben dort, wo diese an die physikalische Implementierung digitaler Codes gehen. Wo der (bio)physikalische ‚Lebensdiskurs‘ den thermodynamischen ‚Zeitpfeil‘ gegen Newtons implizite Annahme reibungsfreier Bewegungen zu verteidigen sucht, zeigt etwa die experimentelle Extrem-Erhitzung von Festplatten, dass *symbolische* Entropiekonstanz keine Idealisierung ist, sondern im Realen tatsächlich – *funktioniert*. Im Falle einer in adiabatischer Chiparchitektur implementierten *reversible computation* wiederum kippt dieses symbolische geradewegs in ein reales *Isentropes* um: das Skandalon für eine Theorie des *Nichtgleichgewichts*, welche die einst „von der Physik bevorzugten stabilen und periodischen Gegenstände [...] als beispielhafte Modellvorstellungen“⁴¹⁰ zu verwerfen sucht.

Hiermit aber stellt sich das Verhältnis von physikalischer Theorie und technischer Medienpraxis auf eine Weise dar, die über ein simples Kausalitätsmodell hinausgeht. Digitale Medien haben die moderne Physik nicht bloß zur Bedingung, wie es etwa ohne das Wissen der Quantenmechanik keine digitale Fotografie gäbe. Vielmehr scheint der *digitale Code* Ökonomien und Desiderate wach- und zur Implementierung zu rufen, die jener do-

⁴¹⁰ Prigogine/Stengers 1990, I.

minanten (bio)physikalischen Perspektive, die auf ‚lebende‘ Systeme gerichtet ist – und ihren Niederschlag aktuell in expandierenden Forschungsverbünden namens *Life Sciences* findet –, diametral entgegensteht.

Bereits bei Schrödinger und Wiener waren *Zeitlosigkeit* und damit *Stillstand* jene Zeitweisen, die es durch Energie- oder Informationsaufnahme aufzuschieben galt und die niemals erfahrbar waren. Im Gegenstandsbereich von Shannons Nachrichtentheorie ist die Arretierung dagegen immer schon eingetreten: als *Stillstand der Symbole*. Das Symbolische markiert so gesehen einen positivierten, erfahrbaren ‚Tod‘. *Zeitlosigkeit* designiert im Regime digitaler Medientechnologien also nichts genuin Negatives mehr, sondern vielmehr Kontrolle und Freiheit – Freiheit vom *Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik*.

Abbildungsnachweise

Abb. 1: „Gasmodell (2)“, in: Kassung 2001, 208.

Abb. 2: „Gasmodell (1)“, ebd., 206.

Abb. 3: „Signatur: Franz Kafka“, unter: <http://gutenberg.spiegel.de/autor/309> (abgerufen am 10. Februar 2014).

Abb. 4: „An unknown pattern is input as a 20×20 matrix with the cells covered by the pattern represented by ‚1's‘ and the other cells by ‚0's‘“, in: Uhr/Vossler 1963, 253.

Abb. 5: „Das älteste Bild einer Druckerpresse – als Totentanz <1499>“, in: Kittler 1986, 12.

Abb. 6: „8-Bit-Grauwertbild mit Histogramm, das die Häufigkeitsverteilung der 256 Intensitätswerte anzeigt“, in: Burger/Burge ²2006, 40.

Abb. 7: „Testing at elevated temperatures to prove data retention for different timescales at $T=300\text{K}$ with $\alpha=1 \times 10^{-6}$ “, in: Vries/Schellenberg/Abelmann/Manz/Elwenspoek 2013, 6.

Abb. 8: Auszug aus Grafikstrecke „Drei Wege zur Bestimmung der Entropiedifferenz“, in: Cerbe/Hoffmann ⁹1990, 119.

Abb. 9: „Rechtslaufender reversibler Carnot-Prozeß im T, S -Diagramm“, ebd., 123.

Abb. 10: Exemplarische ‚Verhaltenstabelle‘, in: Turing 1936/2004, 61.

Abb. 11: „Reversible computation is illustrated in (a). The left-hand end of a horizontal chain is the initial state. Motion to the right yields forward steps through a sequence of states represented by successive circles. Different capital letters correspond to different initial states. For each state (except, perhaps, the initial state) there is a unique predecessor state. That is in contrast to (b), where two distinguishable paths merge into one; information is lost“, in: Landauer ⁴2003, 985.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Aristoteles (²1974): *Kategorien. Lehre vom Satz (Peri hermeneias)*. Hamburg: Meiner.
- Audretsch, Jan (2007): *Entangled Systems. New Directions in Quantum Physics*. Weinheim: Wiley.
- Barthes, Roland (1968/2000): „Der Tod des Autors“, in: *Texte zur Theorie der Autorschaft*, hg. v. Fotis Jannidis, Gerhard Lauer, Mathias Martinez et al. Stuttgart: Reclam, S. 185-193.
- Bateson, Gregory (1972/2000): *Steps to an Ecology of Mind*. Chicago/London: University of Chicago Press.
- Bauberger, Stefan (²2005): *Was ist die Welt? – Zur philosophischen Interpretation der Physik*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Bauer, Markus (2005): *Hochauflösende Beobachtung der Effekte interner und externer Felder an einzelnen Molekülen bei tiefen Temperaturen*. Göttingen: Cuvillier.
- Bell, D. A. (³1962): *Information Theory and its Engineering Applications*. London: Pitman & Sons.
- Ben-Naim, Arieh (2010): *Discover Entropy and the Second Law of Thermodynamics. A Playful Way of Discovering a Law of Nature*. New Jersey/London/Singapur: World Scientific.
- Bennett, C. H. (1982/1990): „The Thermodynamics of Computation – A Review“, in: *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*, hg. v. Harvey S. Leff u. Andrew F. Rex. Bristol: Hilger, S. 213-248.
- Bennett, C. H. (1988/1990): „Notes on the History of Reversible Computation“, in: *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*, hg. v. Harvey S. Leff u. Andrew F. Rex. Bristol: Hilger, S. 281-288.
- Bérut, Antoine/Arakelyan, Artak/Petrosyan, Artyom/Ciliberto, Sergio/Dillenschneider, Raoul/Lutz, Eric (2012): „Experimental verification of Landauer's principle linking information and thermodynamics“, *Nature* 483, S. 187-190.
- Berz, Peter (2012): „Pythagoreismus“, *Tumult. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft* 40 [= Ausgabe „Friedrich Kittler – Technik oder Kunst?“], S. 57-69.
- Bitsch, Annette (2001): *„always crashing in the same car“: Jacques Lacans Mathematik des Unbewußten*. Weimar: VDG.
- Bitsch, Annette (2008): *Diskrete Gespenster. Die Genealogie des Unbewussten aus der Medientheorie und Philosophie der Zeit*. Bielefeld: transcript.
- Bitsch, Annette (2010): „Entropie und Wiederholung bei Freud und Lacan“ [unveröff. Manuskript], Vortrag auf der *Jahrestagung der Gesellschaft für Medienwissenschaft*, Bauhaus-Universität Weimar (29.9 – 2.10.2010).
- Blanchot, Maurice (1981/1993): „Die Literatur und das Recht auf den Tod“, in: Ders.: *Von Kafka zu Kafka*. Frankfurt am Main: Fischer, S. 11-53.
- Boltzmann, Ludwig (1872/1909): „Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen“, in: Ders.: *Wissenschaftliche Abhandlungen*, I. Band (1875-1881), hg. v. Fritz Hasenöhl. Leipzig: Barth, S. 316-402.

- Boltzmann, Ludwig (1877/1909): „Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung resp. den Sätzen über das Wärmegleichgewicht“, in: Ders.: *Wissenschaftliche Abhandlungen*, II. Band (1865-1874), hg. v. Fritz Hasenöhr. Leipzig: Barth, S. 164-223.
- Boltzmann, Ludwig (1886/1979): „Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (gekürzt)“, in: Ders.: *Populäre Schriften*, eingel. u. ausgew. v. Engelbert Broda. Braunschweig: Vieweg & Sohn, S. 26-45.
- Boltzmann, Ludwig (1896/2000): „Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. E. Zermelo“, in: Ders.: *Entropie und Wahrscheinlichkeit* (1872-1905) [= Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 286], ausgew. v. u. eingel. v. Dieter Flamm. Thun/Frankfurt am Main: Harri Deutsch, S. 231-242.
- Boltzmann, Ludwig (1898): *Vorlesungen über Gastheorie*. II. Theil. Leipzig: Barth.
- Brillouin, L. (1951): „Maxwell's Demon Cannot Operate: Information and Entropy. I“, *Journal of Applied Physics* 22, S. 334-337.
- Brillouin, Leon (²2004): *Science and Information Theory*. Mineola, NY: Dover.
- Broda, Engelbert (1979): „Einleitung“, in: Boltzmann, Ludwig: *Populäre Schriften*, eingel. u. ausgew. v. dems. Braunschweig: Vieweg & Sohn, S. 1-11.
- Burger, Wilhelm/Burge, Mark James (²2006): *Digitale Bildverarbeitung: Eine Einführung mit Java und ImageJ*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Burroughs, William S. (⁴1986): *Die elektronische Revolution*. Bonn: Expanded Media.
- Bush, John/Caggiano, Rob/Ian, Scott/Bello, Frank/Benante, Charlie (2003): „What Doesn't Die“ [Song], auf: *Anthrax*, „We've Come For You All“. London: Sanctuary Records.
- Capek, Milič (²1981): „Time in Relativity Theory: Arguments for a Philosophy of Becoming“, in: *The Voices of Time. A Cooperative Survey of Man's Views of Time as Expressed by the Sciences and by the Humanities*, hg. v. J. T. Fraser. Amherst: University of Massachusetts Press, S. 434-454.
- Carnot, Sadi (1824/1995): *Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen* [= Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 37]. Thun/Frankfurt am Main: Harri Deutsch.
- Carpenter, Edmund/McLuhan, Marshall (1960): „Acoustic Space“, in: *Explorations in Communication. An Anthology*, hg. v. dens. Boston: Beacon Press, 65-70.
- Carpo, Mario (2008): „Alberti's Media Lab“, in: *Perspective, Projections and Design. Technologies of Architectural Representation*, hg. v. dems. u. Frederique Lemerle. London/New York: Routledge, S. 47-63.
- Carrier, Martin (2009): *Raum-Zeit*. Berlin: de Gruyter.
- Cerbe, Günter/Hoffmann, Hans-Joachim (⁹1990): *Einführung in die Wärmelehre. Von der Thermodynamik zur technischen Anwendung*. München/Wien: Carl Hanser.
- Clausewitz, Carl von (1832-1834/1957): *Vom Kriege. Hinterlassenes Werk des Generals Carl von Clausewitz*. Berlin: Verl. des Ministeriums für Nationale Verteidigung.

- Clausius, R. (1865): „Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie“, *Annalen der Physik und Chemie*, Bd. CXXV, Nr. 7, S. 353-400.
- Clausius, R. (1867): *Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie*. Ein Vortrag, gehalten in einer allgemeinen Sitzung der 41. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Frankfurt a. M. am 23. September 1867. Braunschweig: Vieweg & Sohn.
- Clausius, R. (³1887): *Die mechanische Wärmetheorie*. Braunschweig: Vieweg.
- Copeland, Jack (2004): „Computable Numbers: A Guide“, in: *The Essential Turing. Seminal Writings in Computing, Logic, Philosophy, Artificial Intelligence, and Artificial Life plus The Secrets of Enigma*, hg. v. B. Jack Copeland. Oxford: Clarendon Press, S. 5-57.
- Coveney, Peter/Highfield, Roger (1990/1992): *Anti-Chaos. Der Pfeil der Zeit in der Selbstorganisation des Lebens*. Reinbek: Rowohlt.
- Deleuze, Gilles (1990): „Post-scriptum sur les sociétés de controle“, in: Ders.: *Pourparlers*. Paris: Éditions de Minuit, S. 240-247
- Derrida, Jacques (1971/1988): „Signatur Ereignis Kontext“, in: *Randgänge der Philosophie*, hg. v. Peter Engelmann. Wien: Passagen, S. 291-362.
- Derrida, Jacques (1972/1995): *Dissemination*. Wien: Passagen.
- Dilthey, Wilhelm (⁴1957): „Die Entstehung der Hermeneutik“, in: Ders.: *Die geistige Welt. Einleitung in die Philosophie des Lebens. Erste Hälfte: Abhandlungen zur Grundlegung der Geisteswissenschaften* [= Gesammelte Schriften, V. Band]. Stuttgart: Teubner, S. 317-331.
- Dotzler, Bernhard (2002): „Vorwort“, in: Wiener, Norbert: *Futurum Exactum. Ausgewählte Schriften zur Kybernetik und Kommunikationstheorie*, hg. v. dems. Wien/New York: Springer, S. 1-12.
- Ducrocq, Albert (1955/1959): *Die Entdeckung der Kybernetik. Über Rechenanlagen, Regelungstechnik und Informationstheorie*. Frankfurt am Main: Europäische Verlagsanstalt.
- Eddington, A. S. (1929): *The Nature of the Physical World*. New York: Macmillan.
- Engels, Friedrich (1925/1962): *Dialektik der Natur*, in: Ders.: *Werke*, Bd. 20. Berlin: Dietz, S. 307-568.
- Erhardt, Angelika (2008): *Einführung in die Digitale Bildverarbeitung. Grundlagen, Systeme und Anwendungen*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Ernst, Wolfgang (2004): „Den A/D-Umbruch aktiv denken – medienarchäologisch, kulturtechnisch“, in: *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*, hg. v. Jens Schröter. Bielefeld: transcript, S. 49-65.
- Ernst, Wolfgang (2008): „„Merely the Medium“? Die operative Verschränkung von Logik und Materie“, in: *Was ist ein Medium?*, hg. v. Stefan Münker u. Alexander Roesler. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 158-184.
- Ernst, Wolfgang/von Heiseler, Till Nikolaus (2008): „Wozu Medientheorie? – Wolfgang Ernst und Till Nikolaus von Heiseler im Gespräch“, in: *Medientheater*, hg. v. Till Nikolaus von Heiseler (Regie). Berlin: Kadmos, S. 23-74.
- Ernst, Wolfgang (2012): *Gleichursprünglichkeit. Zeitwesen und Zeitgegebenheit technischer Medien*. Berlin: Kadmos.

- Ettler, Manuel (2009): *Einfluss von Reoxidationszyklen auf die Betriebsfestigkeit von anodengestützten Festoxid-Brennstoffzellen*. Jülich: Forschungszentrum Jülich.
- Eysenck, Hans J. (1979): *The Structure and Measurement of Intelligence*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Fischer, Ernst Peter (⁴1993): „Was ist Leben?“ – mehr als vierzig Jahre später“, in: Schrödinger, Erwin: *Was ist Leben? – Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers*. München: Piper, S. 9-25.
- Flamm, Dieter (2000): „Einführung“, in: Boltzmann, Ludwig: *Entropie und Wahrscheinlichkeit* (1872-1905) [= Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 286], ausgew. v. dems. Thun/Frankfurt am Main: Harri Deutsch, S. VII-XXXV.
- Flusser, Vilém (1992): *Krise der Linearität*. Vortrag im Kunstmuseum Bern, 20. März 1988. Bern: Benteli.
- Flusser, Vilém (1996): *Kommunikologie* [= Schriften, Band 4, hg. v. Stefan Bollmann u. Edith Flusser]. Mannheim: Bollmann.
- Foerster, Heinz von (Hg. 1950/2003): *Cybernetics. Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems*. Transactions of the Seventh Conference (March 23-24, 1950, New York, N.Y.), Abdruck in: *Cybernetics – Kybernetik. The Macy Conferences 1946-1953*. Band 1, hg. v. Claus Pias. Zürich/Berlin: diaphanes, S.165-335.
- Foucault, Michel (⁴1990): *Archäologie des Wissens*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Frank, Manfred (1985): *Das individuelle Allgemeine. Textstrukturierung und -interpretation nach Schleiermacher*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Frank, Michael/Vieri, Carlin/Ammer, M. Josephine/Love, Nicole/Margolus, Norman H./Knight, Jr., Thomas F. (1998): „A Scalable Reversible Computer in Silicon“, in: *Unconventional Models of Computation*, hg. v. C.S. Calude, J. Casti u. M.J. Dineen. Singapur: Springer, S. 183-200.
- Freud, Sigmund (1920/1999): *Jenseits des Lustprinzips*, in: Ders.: *Gesammelte Werke*, Band XIII, hg. v. Anna Freud, Edward Bibring, Willi Hoffer et al. Frankfurt am Main: Fischer, S. 1-69.
- Gadamer, Hans-Georg (⁶1990): *Hermeneutik I – Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik* [= Gesammelte Werke Bd. 1]. Tübingen: Mohr.
- Gibbs, Willard J. (1902/1960): *Elementary Principles in Statistical Mechanics*. New York: Dover.
- Grevsmühl, Sebastian Vincent (²2008): „Epistemische Topografien. Fotografische und radartechnische Wahrnehmungsräume“, in: *Vernandte Bilder. Die Fragen der Bildwissenschaft*, hg. v. Ingeborg Reichle, Steffen Siegel u. Achim Spelten. Berlin: Kadmos, S. 263-279.
- Gschwind, Rudolf (2006): „Bilddigitalisierung und Langzeitarchivierung digitaler Daten“, in: *Gegenwart dokumentieren – Archiving the Present. Handbuch zur Erschließung von moderner und zeitgenössischer Kunst in Archiven und Datenbanken*, hg. v. Lioba Reddeker. Wien: basis, S. 168-182.
- Günther, Gotthard (1964): *Kybernetik und Dialektik – der Materialismus von Marx und Lenin*. Maschinell geschriebenes Vortragsmanuskript (27. Juli 1964, Universität Köln) aus dem Nachlass der Staatsbibliothek zu Berlin (Handschriftenabteilung), Signatur: Nachl. 196

(Gotthard Günther), Mp. 283, http://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg_vortrag_koeln.pdf (abgerufen am 10. Februar 2014).

Haas, Norbert (2012): „Einige Gedanken zu Friedrich K.“, *Tumult. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft* 40 [= Ausgabe „Friedrich Kittler – Technik oder Kunst?“], S. 24-28.

Hägele, Peter (2004): *Was hat Entropie mit Information zu tun?*, http://www.uni-ulm.de/~phaegele/Vorlesung/Grundlagen_II/_information.pdf (abgerufen am 10. Februar 2014).

Hagen, Wolfgang (1999): „Zur medialen Genealogie der Elektrizität“, in: *Kommunikation, Medien, Macht*, hg. v. Rudolf Maresch u. Niels Werber. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 133-173.

Hagen, Wolfgang (2002): „Die Entropie der Fotografie. Skizzen zu einer Genealogie der digital-elektronischen Bildaufzeichnung“, in: *Paradigma Fotografie*, hg. v. Herta Wolf. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 195-235.

Haugen, Odd Heinar (2004/2007): „Textkritik und Textphilologie“, in: *Altnordische Philologie*, hg. v. dems. Berlin: de Gruyter, S. 99-146.

Hamacher, Werner (1979): „Hermeneutische Ellipsen. Schrift und Zirkel bei Schleiermacher“, in: *Texthermeneutik. Aktualität, Geschichte, Kritik*, hg. v. Ulrich Nassen. Paderborn/München/Wien et al.: Schöningh, S. 113-148.

Heidegger, Martin (1953/1990): „Die Frage nach der Technik (1953)“, in: Ders.: *Vorträge und Aufsätze* [= Gesamtausgabe, I. Abteilung: Veröffentlichte Schriften 1910-1976, Band 7]. Frankfurt am Main: Klostermann, S. 7-36.

Heidegger, Martin (¹⁹2006): *Sein und Zeit*. Tübingen: Niemeyer.

Heims, Steve J. (1989): „Introduction“, in: Wiener, Norbert: *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society*. London: FAB, S. xi-xxiii.

Heims, Steve Joshua (1980): *John von Neumann and Norbert Wiener: From Mathematics to the Technologies of Life and Death*. Cambridge, MA: MIT Press.

Held, Werner (o. J.): „Quantentheorie der Information“, http://www.datadiwan.de/netzwerk/index.htm?/experten/he_002d_.htm (abgerufen am 10. Februar 2014).

Hendrickson, Michael R. (2008): „Schrödingers Geist. Überlegungen zur erstaunlichen Relevanz von *Was ist Leben?* für die Krebs-Biologie“, in: Gumbrecht, Hans Ulrich/Harrison, Robert Pogue/Ders./Laughlin, Robert B.: *Geist und Materie – Was ist Leben? Zur Aktualität von Erwin Schrödinger*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 57-112.

Herrmann, F. (2004): „Altlasten der Physik (76): Negative Entropie und Negentropie“, *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 6/53, S. 46-47.

Herwig, Heinz/Moschallski, Andreas (²2009): *Wärmeübertragung. Physikalische Grundlagen – Illustrierende Beispiele – Übungsaufgaben mit Musterlösungen*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

Hodgson, Ralph (1917/1963): *Time, you Old Gipsy Man*, in: Ders.: *Collected Poems*. New York: St. Martin's Press, S. 62.

Jauch, J. M./Báron, J. G. (1972): „Entropy, Information and Szilard's Paradox“, *Helvetica Physica Acta* 45, S. 220-232.

Jonson, Ben (1631/2001): *The New Inn*, hg. v. Michael Hattaway. Manchester: Manchester University Press.

- Kanitscheider, Bernulf (1996): *Im Innern der Natur. Philosophie und moderne Physik*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Kassung, Christian (2001): *Entropie-Geschichten. Robert Musils „Der Mann ohne Eigenschaften“ im Diskurs der modernen Physik*. München: Fink.
- Kaube, Jürgen (2012): „Unter Apparaten“, *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 295 (18. Dezember), S. 25.
- Kay, Lily E. (2000/2001): *Das Buch des Lebens. Wer schrieb den genetischen Code?* München/Wien: Hanser.
- Kittel, Charles/Krömer, Herbert (⁵2001): *Thermodynamik*. München/Wien: R. Oldenbourg.
- Kittler, Friedrich (1991): „Fiktion und Simulation“, in: *Aisthesis. Wahrnehmung heute oder Perspektiven einer anderen Ästhetik*, hg. v. Karlheinz Barck, Peter Gente, Heidi Paris et al. Leipzig: Reclam, S. 196-213.
- Kittler, Friedrich (1994/2004): „Norbert Wiener. Der zerstreute Mathematiker“, in: Ders.: *Unsterbliche. Nachrufe, Erinnerungen, Geistergespräche*. München: Fink, S. 47-55.
- Kittler, Friedrich A. (1979): „Vergessen“, in: *Texthermeneutik. Aktualität, Geschichte, Kritik*, hg. v. Ulrich Nassen. Paderborn/München/Wien et al.: Schöningh, S. 195-221.
- Kittler, Friedrich A. (1986): *Grammophon Film Typewriter*. Berlin: Brinkmann & Bose.
- Kittler, Friedrich A. (1993a): „Geschichte der Kommunikationsmedien“, in: *Raum und Verfahren. Interventionen*, hg. v. Jörg Huber u. Alois Martin Müller. Basel/Frankfurt am Main: Stroemfeld/Roter Stern, S. 169-188.
- Kittler, Friedrich A. (1993b): „Romantik – Psychoanalyse – Film: eine Doppelgänger-geschichte“, in: Ders.: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig: Reclam, S. 81-104.
- Kittler, Friedrich A. (1993c): „Die Welt des Symbolischen – eine Welt der Maschine“, in: Ders.: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig: Reclam, S. 58-80.
- Kittler, Friedrich A. (1993d): „Signal-Rausch-Abstand“, in: Ders.: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig: Reclam, S. 161-181.
- Kittler, Friedrich A. (1993e): „Real Time Analysis, Time Axis Manipulation“, in: Ders.: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig: Reclam, S. 182-207.
- Kittler, Friedrich A. (1993f): „Es gibt keine Software“, in: Ders.: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig: Reclam, S. 208-242.
- Kittler, Friedrich A. (⁴2003): *Aufschreibesysteme 1800/1900*. München: Fink.
- Kittler, Friedrich A. (2007): *Eine Kulturgeschichte der Kulturwissenschaft*, Teil II, Vorlesung 7, Audiomitschnitt unter http://www.unmarkedscapes.net/kugekuwi2/vl_sommer07/kittler_kugekuwi2_07.mp3 (abgerufen am 10. Februar 2014).
- Kittler, Friedrich/Berz, Peter/Hauptmann, David/Roch, Axel (2000): „Read Me First (als Nachwort)“, in: Shannon, Claude E.: *Ein/Aus. Ausgewählte Schriften zur Kommunikations- und Nachrichtentheorie*, hg. v. dens. Berlin: Brinkmann & Bose, S. 331-333.
- Kloock, Daniela/Spahr, Angela (²2000): *Medientheorien. Eine Einführung*. München: Fink.
- Kowalëw, I. F. (1964): „Thermodynamik und Entstehung des Lebens“, *Ost-Probleme* 19/20, S. 548-553.

- Krämer, Sybille (1988): *Symbolische Maschinen. Die Geschichte der Formalisierung in historischem Abriß*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Krämer, Sybille (2002): „Verschwindet der Körper? Ein Kommentar zu virtuellen Räumen“, in: *Raum – Wissen – Macht*, hg. v. Rudolf Maresch u. Niels Werber. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 49-68.
- Lacan, Jacques (²1991): *Das Ich in der Theorie Freuds und in der Technik der Psychoanalyse* [= Das Seminar. Buch II (1945-1955)]. Weinheim/Berlin: Quadriga.
- Lacan, Jacques (³1991a): *Schriften I*, ausgew. u. hg. v. Norbert Haas. Weinheim/Berlin: Quadriga.
- Lacan, Jacques (³1991b): *Schriften II*, ausgew. u. hg. v. Norbert Haas. Weinheim/Berlin: Quadriga.
- Lacan, Jacques (1959-1960/1996): *Die Ethik der Psychoanalyse* [= Das Seminar. Buch VII (1959-1960)]. Weinheim/Berlin: Quadriga.
- Landauer, Rolf (1961/1990): „Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process“, in: *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*, hg. v. Harvey S. Leff u. Andrew F. Rex. Bristol: Hilger, S. 188-196.
- Landauer, Rolf (1987/1990): „Computation: A Fundamental Physical View“, in: *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*, hg. v. Harvey S. Leff u. Andrew F. Rex. Bristol: Hilger, S. 260-267.
- Landauer, Rolf (⁴2003): „Limits of Computation“, in: *Encyclopedia of Computer Science*, hg. v. Anthony Ralston, Edwin D. Reilly u. David Hemmendinger. Chichester, UK: Wiley, S. 984-988.
- Lange, F. H. (²1962): *Korrelationselektronik. Grundlagen und Anwendung der Korrelationsanalyse in der modernen Nachrichten-, Meß- und Regelungstechnik*. Berlin: VEB.
- Langlitz, Nicolas (2004): *Lacans Praxis der variablen Sitzungsdauer und seine Theorie der Zeitlichkeit* (Dissertation FU Berlin 2004; http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000001485, abgerufen am 10. Februar 2014).
- Laquière-Waniek, Eva (2012): „Fort und Da. Zur Ankunft des Subjekts“, in: *Spielregeln. 25 Aufstellungen*, hg. v. Peter Berz, Marianne Kubaczek, ders. u. David Unterholzner. Zürich/Berlin: diaphanes, S. 185-200.
- Leff, Harvey S./Rex, Andrew F. (Hg. 1990): *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*. Bristol: Hilger.
- Leff, Harvey S./Rex, Andrew F. (1990): „Overview“, in: *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*, hg. v. dens. Bristol: Hilger, S. 1-32.
- Leff, Harvey S./Rex, Andrew F. (Hg. 2003): *Maxwell's Demon: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*. Bristol: Inst. of Physics.
- Liedtke, Max (2008): „Wiederholungen‘ als umfassendes kosmologisches Strukturmerkmal. Erscheinungsformen, Funktionen und mögliche Ursachen“, in: *Wiederholungen: von Wellengängen und Reprisen in der Kulturentwicklung*, hg. v. Hartmut Heller. Münster: LIT, S. 13-29.
- Lindblad, Göran (1973): „Entropy, Information and Quantum Measurements“, *Communications in Mathematical Physics* 33, S. 305-322.

- Lüdecke, Dorothea/Lüdecke, Christa (2000): *Thermodynamik. Physikalisch-chemische Grundlagen der technischen Verfahrenstechnik*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Lutz, Helga/Tyradellis, Daniel (2005): „Jemands Tod: Uncia Zürn und Jacques Lacan. Anagramme, Suvjekt- und Rechenmaschinen“, in: *Blickzählung und Augentäuschung. Zu Jacques Lacans Bildtheorie*, hg. v. Claudia Blümle u. Anne von der Heiden. Zürich/Berlin: diaphanes, S. 145-161.
- Manovich, Lev (2012): „How to Compare One Million Images?“, in: *Understanding Digital Humanities*, hg. v. David M. Berry. Basingstoke: Palgrave Macmillan, S. 249-278.
- Manovich, Lev (2013): *Software Takes Command*. New York/London/Neu-Delhi et al.: Bloomsbury.
- Maritsch, Thomas M. (2009): *Keine Löcher. Eine alltagstaugliche Naturphilosophie: Kontinuum, Evolution und System*. Nordersted: BoD.
- Marriage, Tobias (1998): *Computing Entropy: Understanding Maxwell's Demon*, http://www.kbingham.net/marriage_fall98.pdf (abgerufen am 10. Februar 2014).
- Masani, Pesi R. (1990): *Norbert Wiener: 1894-1964*. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser.
- Maxwell, James Clerk (1867/1995): „Letter to Peter Guthrie Tait (11 December 1867)“, in: Ders.: *The Scientific Letters and Papers*, Vol. II (1862-1873), hg. v. P. M. Harman. Cambridge, UK: Cambridge University Press, S. 328-334.
- Meffert, Beate/Hochmuth, Olaf (2004): *Werkzeuge der Signalverarbeitung. Grundlagen, Anwendungsbeispiele, Übungsaufgaben*. München: Pearson.
- Mersch, Dieter (2006): *Medientheorien zur Einführung*. Hamburg: Junius.
- Nakata, Hideo (Regie 1998): *Ringu* [Film]. Japan: Omega Project.
- Nake, Frieder: „Das algorithmische Zeichen und die Maschine“, in: *Perspektiven der Gestaltung von Arbeit und Technik*, hg. v. Hans-Jürgen Paul u. Erich Latniak. München: Rainer Hampp, S. 203-223.
- Neumann, Burkhard (2005): *Bildverarbeitung für Einsteiger. Programmbeispiele mit Mathcad*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Neumann, Johann v. (1932/1968): *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Neumann, John von (1948/1963): „The general and logical theory of automata“, in: Ders.: *Collected Works*, hg. v. A. H. Taub. Band V: *Design of Computers, Theory of Automata and Numerical Analysis*. Oxford/New York/Toronto et al.: Pergamon Press, S. 188-236.
- Nyquist, H. (1924): „Certain Factors Affecting Telegraph Speed“, *Bell System Technical Journal* 3, S. 324-346.
- Pasquinelli, Matteo (2010): *Introducing Four Regimes of Entropy: Notes on Environmental Fatalism and Energo-Determinism*, http://matteopasquinelli.com/docs/Pasquinelli_Introducing_Four_Regimes_of_Entropy.pdf (abgerufen am 10. Februar 2014).
- Peirce, Charles S. (1940/1955): *Philosophical Writings*, hg. v. Justus Buchler. New York: Dover.
- Perrot, Pierre (1994/1998): *A to Z of Thermodynamics*. Oxford/New York/Tokio: Oxford University Press.

- Peters, J. (1970): „Entropie und Information“, *Physik in unserer Zeit* 1/5, S. 162-167.
- Petruschenko, L. A. (1960/1962): „Die philosophische Bedeutung des Begriffs ‚Rückmeldung‘ in der Kybernetik“, *Ost-Probleme* 1, S. 19-27.
- Pflüger, Jörg (2005): „Wo die Quantität in Qualität umschlägt“, in: *HyperKult II*, hg. v. Martin Warnke, Wolfgang Coy u. Georg Christoph Tholen. Bielefeld: transcript, S. 27-94.
- Pias, Claus (2003): „Das digitale Bild gibt es nicht. Über das (Nicht-)Wissen der Bilder und die informatische Illusion“, *zeitenblicke – Online-Journal für die Geschichtswissenschaften* 2, Nr. 1, <http://www.zeitenblicke.de/2003/01/pias> (abgerufen am 10. Februar 2014).
- Pias, Claus (2004): „Elektronenhirn und verbotene Zone. Zur kybernetischen Ökonomie des Digitalen“, in: *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*, hg. v. Jens Schröter. Bielefeld: transcript, S. 295-309.
- Pickering, Andrew (2004): *The Cybernetic Brain. Sketches of Another Future*. Chicago/London: University of Chicago Press.
- Planck, Max (1908/1933): „Die Einheit des physikalischen Weltbildes“, in: Ders.: *Wege zur physikalischen Erkenntnis. Reden und Vorträge*. Leipzig: Hirzel, S. 1-32.
- Platon (1986): *Phaidros oder vom Schönen*, hg. u. eingel. v. Kurt Hildebrandt. Stuttgart: Reclam.
- Prigogine, Ilya/Stengers, Isabelle (⁶1990): *Dialog mit der Natur*. München/Zürich: Piper.
- Prigogine, Ilya/Stengers, Isabelle/Pahaut, Serge (1979/1991): „Die Dynamik – von Leibniz zu Lukrez“, in: Serres, Michel/Dies.: *Anfänge: Die Dynamik – von Leibniz zu Lukrez*. Berlin: Merve, S. 19-63.
- Rautzenberg, Markus (²2010): „Vom Rausch(en) des Realen. Zur Geburt des Unheimlichen aus dem Geist des Mediums in Silent Hill 2“, in: „See? I’m Real...“ – *Multidisziplinäre Zugänge zum Computerspiel am Beispiel von Silent Hill*, hg. v. Britta Neitzel, Matthias Bopp u. Rolf F. Nohr. Münster: LIT, S. 126–144.
- Rehder, Wulf (1984): „Sicherung gegen Codebrecher durch Randomisierung“, *Zeitschrift für Semiotik*, Bd. 6, Heft 3, S. 271-275.
- Rheinberger, Hans-Jörg (²2002): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Göttingen: Wallstein.
- Roch, Axel (2009): *Claude E. Shannon: Spielzeug, Leben und die geheime Theorie seiner Information*. Berlin: gegenstalt.
- Rosenberger, Ferdinand (1887): *Die Geschichte der Physik in Grundzügen mit synchronistischen Tabellen der Mathematik, der Chemie und beschreibenden Naturwissenschaften sowie der allgemeinen Geschichte*. Dritter Theil: *Geschichte der Physik in den letzten hundert Jahren*. Erste Abtheilung. Braunschweig: Vieweg & Sohn.
- Sander, Klaus/Wiener, Oswald (2005): „Musik ist keine Sprache“, in: Sander, Klaus/St. Werner, Jan: *Vorgemischte Welt*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 215-228.
- Saussure, Ferdinand de (²1967): *Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft*, hg. v. Charles Bally u. Albert Sechehaye. Berlin: de Gruyter.
- Schäffner, Wolfgang (2010): „Euklids Zeichen. Zur Genese des analogen Codes in der frühen Neuzeit“, *Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik* 7/2 [= Ausgabe „Mathematische Formen“], S. 62-73.

- Schlegel, Richard (²1981): „Time and Thermodynamics“, in: *The Voices of Time. A Cooperative Survey of Man's Views of Time as Expressed by the Sciences and by the Humanities*, hg. v. J. T. Fraser. Amherst: University of Massachusetts Press, S. 500-523.
- Schleiermacher, Friedrich (⁵1993): *Hermeneutik und Kritik. Mit einem Anhang sprachphilosophischer Texte Schleiermachers*, hg. u. eingel. v. Manfred Frank. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Schmidgen, Henning (1997): *Das Unbewusste der Maschinen. Konzeptionen des Psychischen bei Guattari, Deleuze und Lacan*. München: Fink.
- Schmidt, Ulf (2004): „Metaphysischer Stillstand. Die Schrift, die Idee und der Tod bei Platon“, in: *Stillstellen. Medien – Aufzeichnung – Zeit*, hg. v. Andreas Gelhard, dems. u. Tanja Schultz. Schliengen: Edition Argus, S. 211-228.
- Schneider, Eric D./Kay, James J. (1995/1997): „Ordnung aus Unordnung. Die Thermodynamik der Komplexität in der Biologie“, in: *Was ist Leben? Die Zukunft der Biologie. Eine alte Frage in neuem Licht – 50 Jahre nach Erwin Schrödinger*, hg. v. Michael P. Murphy u. Luke A. J. O'Neill. Heidelberg/Berlin/Oxford: Spektrum, S. 183-196.
- Schrödinger, Erwin (⁴1993): *Was ist Leben? – Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers*. München: Piper.
- Schröter, Jens (2004): „Die Macht der Stillstellung. Zur technologischen Abtastung und Verfolgung am Beispiel der Fotografie und des Computers“, in: *Stillstellen. Medien – Aufzeichnung – Zeit*, hg. v. Andreas Gelhard, Ulf Schmidt u. Tanja Schultz. Schliengen: Edition Argus, S. 60-74.
- Schüttpelz, Erhard (2001): „Quelle, Rauschen und Senke der Poesie. Roman Jakobsons Umschrift der Shannonschen Kommunikation“, in: *Schnittstelle: Medien und Kulturwissenschaften* [= Mediologie, Bd. 1], hg. v. Georg Stanitzek u. Wilhelm Voßkamp. Köln: DuMont, S. 187-206.
- Shannon, Claude E. (1948/2000a): „Eine Mathematische Theorie der Kommunikation“, in: ders.: *Ein/Aus. Ausgewählte Schriften zur Kommunikations- und Nachrichtentheorie*, hg. v. Friedrich Kittler, Peter Berz, David Hauptmann et al. Berlin: Brinkmann & Bose, S. 7-100.
- Shannon, Claude E. (1948/2000b): „Die Philosophie der PCM“, in: Ders.: *Ein/Aus. Ausgewählte Schriften zur Kommunikations- und Nachrichtentheorie*, hg. v. Friedrich Kittler, Peter Berz, David Hauptmann et al. Berlin: Brinkmann & Bose, S. 217-235.
- Shannon, Claude E. (1951): „Prediction and Entropy of Printed English“, *Bell System Technical Journal* 30, S. 50-64.
- Shimojima, Atsushi (1996): „Operational Constraints in Diagrammatic Reasoning“, in: *Logical Reasoning with Diagrams*, hg. v. Gerard Allwein u. Jon Barwise. Oxford/New York: Oxford University Press, S. 27-48.
- Siegert, Bernhard (1999): „Das Leben zählt nicht. Natur- und Geisteswissenschaften bei Dilthey aus mediengeschichtlicher Sicht“, in: *Dreizehn Vorträge zur Medienkultur*, hg. v. Claus Pias. Weimar: VDG, S. 161-182.
- Siegert, Bernhard (2008): „Am Ende der Kräfte. Von der thermodynamischen zur nachrichtentheoretischen Welt“, in: *Zeichen der Kraft. Wissensformationen 1900-1900*, hg. v. Thomas Brandstetter u. Christof Windgätter. Berlin: Kadmos, S. 273-285.

- Simard, Olivier/Holl, Ute (2013): „Mein Job ist das Zählen. Medien und Massen der CERN-Teilchenphysiker“, *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 1, S. 138-143.
- Sonntag, Richard E./Borgnakke, Claus/Wylen, Gordon J. van (⁶2003): *Fundamentals of Thermodynamics*. Hoboken, NJ: Wiley & Sons.
- Sprenger, Florian (2012): *Medien des Immediaten. Elektrizität – Telegraphie – McLuhan*. Berlin: Kadmos.
- Stengers, Isabelle (1997): *Power and Invention: Situating Science*. Minneapolis/London: University of Minnesota Press.
- Stiegler, Bernard (2008): *Technics and Time, 2: Disorientation*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Szilard, L. (1929): „Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen“, *Zeitschrift für Physik* 53, S. 840-856.
- Tholen, Georg Christoph (1999): „Überschneidungen. Konturen einer Theorie der Medialität“, in: *Konfigurationen. Zwischen Kunst und Medien*, hg. v. Sigrid Schade u. d. Ms. München: Fink, S. 15-34.
- Turing, Alan (1936/2004): „On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem (1936)“, in: *The Essential Turing. Seminal Writings in Computing, Logic, Philosophy, Artificial Intelligence, and Artificial Life plus The Secrets of Enigma*, hg. v. B. Jack Copeland. Oxford: Clarendon Press, S. 58-90.
- Turing, Alan (1950/2004): „Computing Machinery and Intelligence (1950)“, in: *The Essential Turing. Seminal Writings in Computing, Logic, Philosophy, Artificial Intelligence, and Artificial Life plus The Secrets of Enigma*, hg. v. B. Jack Copeland. Oxford: Clarendon Press, S. 433-464.
- Völz, Horst (1999): *Das Mensch-Technik-System. Physiologische, physikalische und technische Grundlagen – Software und Hardware*. Renningen-Malmsheim: expert.
- Vries, Jeroen de/Schellenberg, Dimitri/Abelmann, Leon/Manz, Andreas/Elwenspoek, Miko (2013): *Towards Gigayear Storage Using a Silicon-Nitride/Tungsten Based Medium* [Pre-print], <http://arxiv.org/pdf/1310.2961v1> (abgerufen am 10. Februar 2014).
- Watzlawick, Paul/Beavon, Janet H./Jackson, Don D. (⁹1996): *Menschliche Kommunikation*. Bern/Göttingen/Toronto et al.: Huber.
- Weaver, Warren (1949/1976): „Ein aktueller Beitrag zur mathematischen Theorie der Kommunikation“, in: Shannon, Claude E./Ders.: *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*. München/Wien: R. Oldenbourg, S. 11-39.
- Wegener, Mai (2012): „„Radikalisch entkoppelt“. Die Vertäuung des Wissens“, *Tumult. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft* 40 [= Ausgabe „Friedrich Kittler – Technik oder Kunst?“], S. 79-82.
- Wehrt, Hartmut (1974): „Über Irreversibilität, Naturprozesse und Zeitstruktur“, in: *Offene Systeme I. Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution*, hg. v. Ernst von Weizsäcker. Stuttgart: Klett, S. 114-199.
- Weizsäcker, Carl Friedrich von (1972): „Vorbereitete Diskussionsbemerkung“, *Nova Acta Leopoldina*, Bd. 37/1, Heft 206, S. 503-510.
- Weizsäcker, Carl Friedrich von (²1981): *Die Einheit der Natur*. München: Hanser.

- Weizsäcker, Carl Friedrich von (1985/1988): *Aufbau der Physik*. München: dtv.
- Weizsäcker, Carl Friedrich von (2006): *Die Geschichte der Natur*. Stuttgart: Hirzel.
- Weizsäcker, Ernst von (1974): „Einleitung“, in: *Offene Systeme I. Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution*, hg. v. dems. Stuttgart: Klett, S. 9-16.
- Weizsäcker, Ernst Ulrich von/Weizsäcker, Christine von (1998): „Information, evolution and ‚error-friendliness‘“, *Biological Cybernetics* 79, S. 501-506.
- Wiener, Norbert (1948/1968): *Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*. Reinbek: Rowohlt.
- Wiener, Norbert (1948/2002): „Zeit, Kommunikation und das Nervensystem“, in: Ders.: *Futurum Exactum. Ausgewählte Schriften zur Kybernetik und Kommunikationstheorie*, hg. v. Bernhard Dotzler. Wien/New York: Springer, S. 149-182.
- Wiener, Norbert (1950/1989): *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society*. London: FAB.
- Wiener, Norbert (1955/2002): „Die Thermodynamik der Nachricht“, in: Ders.: *Futurum Exactum. Ausgewählte Schriften zur Kybernetik und Kommunikationstheorie*, hg. v. Bernhard Dotzler. Wien/New York: Springer, S. 115-122.
- Wiener, Norbert (1958/2002): „Meine Beziehung zur Kybernetik“, in: Ders.: *Futurum Exactum. Ausgewählte Schriften zur Kybernetik und Kommunikationstheorie*, hg. v. Bernhard Dotzler. Wien/New York: Springer, S. 217-134.
- Winkler, Hartmut (2008): „„Zeichenmaschinen. Oder warum die semiotische Dimension für eine Definition der Medien unerlässlich ist“, in: *Was ist ein Medium?*, hg. v. Stefan Münker u. Alexander Roesler. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 211-221.
- Wolkenstein, Michail W. (1986/1990): *Entropie und Information*. Berlin: Akademie.
- Zucker, Francis J. (1974): „Information, Entropie, Komplementarität und Zeit“, in: *Offene Systeme I. Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution*, hg. v. Ernst von Weizsäcker. Stuttgart: Klett, S. 35-81.